

# Ethereum Virtual Machine (EVM) - Trái Tim Của Ethereum

## Meta Description

Ethereum Virtual Machine (EVM) là bộ xử lý hợp đồng thông minh, đóng vai trò trung tâm trong hệ sinh thái Ethereum. Bài viết này sẽ giải thích cách EVM hoạt động, opcodes quan trọng, và lý do tại sao nó trở thành tiêu chuẩn cho các blockchain như BSC, Avalanche, và Polygon.

## Key Takeaways

- **EVM là nền tảng xử lý hợp đồng thông minh của Ethereum**, đảm bảo mọi nút thực thi cùng mã và duy trì trạng thái blockchain.
- **EVM sử dụng opcodes để thực thi mã Solidity**, giúp hợp đồng thông minh hoạt động trên toàn mạng Ethereum.
- **Kiến trúc EVM dựa trên ngăn xếp (stack-based execution)**, với bộ nhớ tạm thời và bộ lưu trữ vĩnh viễn.
- **Nhiều blockchain như BSC, Avalanche, Polygon tương thích với EVM**, giúp mở rộng hệ sinh thái Ethereum.

## Ethereum Virtual Machine (EVM) Là Gì?

Ethereum Virtual Machine (EVM) là một **máy ảo Turing-complete**, có thể thực thi **các chương trình tùy ý** trên mạng Ethereum thông qua **hợp đồng thông minh**. EVM đảm bảo rằng **tất cả các nút trên Ethereum đều thực thi cùng một mã**, giúp duy trì **trạng thái blockchain đồng bộ** trên toàn mạng.

### 🔴 Điểm nổi bật:

- **Mọi giao dịch trên Ethereum đều đi qua EVM**, ngay cả khi chỉ là chuyển ETH đơn giản.
- **Hợp đồng thông minh được viết bằng Solidity**, sau đó biên dịch thành bytecode để EVM thực thi.
- **Mỗi nút Ethereum đều chạy EVM**, giúp mạng phi tập trung và đảm bảo tính toàn vẹn.

👉 EVM là "bộ não" của Ethereum, chịu trách nhiệm xử lý mọi giao dịch và hợp đồng thông minh.

## Cách EVM Hoạt Động

Khi một giao dịch được gửi trên Ethereum, EVM thực hiện các bước sau:

### ① Kiểm Tra Hợp Lệ

- **Xác minh chữ ký** của người gửi.
- **Kiểm tra số dư ETH** để đảm bảo đủ gas thực thi.

## 2 Thực Thi Hợp Đồng Thông Minh (Nếu Có)

- **Tải mã hợp đồng** lên EVM.
- **Chạy opcodes** theo logic của hợp đồng.
- **Tính toán lượng gas tiêu thụ** cho mỗi bước thực thi.

## 3 Cập Nhật Trạng Thái Blockchain

- **Số dư tài khoản** được điều chỉnh sau giao dịch.
- **Dữ liệu hợp đồng thông minh** được lưu trong bộ lưu trữ EVM.
- **Ghi trạng thái cuối cùng lên blockchain** để đảm bảo đồng thuận trên toàn mạng.

### 🚩 Điểm đáng chú ý:

- Nếu **gas cạn kiệt**, giao dịch bị hủy và trạng thái blockchain không thay đổi.
- Một **giao dịch đơn giản** (chuyển ETH) cũng đi qua EVM, như một cuộc gọi đến hàm fallback của địa chỉ nhận ([Ethereum.org](https://ethereum.org)).

👉 EVM là "bộ điều hành" giúp thực thi hợp đồng thông minh một cách an toàn và đồng nhất trên toàn mạng Ethereum.

# Opcodes & Cách EVM Xử Lý Hợp Đồng Thông Minh

Hợp đồng thông minh được viết bằng **Solidity**, nhưng EVM chỉ hiểu **bytecode**, được tạo ra từ tập hợp **opcodes**.

### 🚩 Opcodes là gì?

- Là **tập lệnh cơ bản** của EVM.
- Bao gồm **phép toán số học, quản lý bộ nhớ, điều kiện rẽ nhánh...**
- Ví dụ:
  - **ADD** (Cộng hai số trên ngăn xếp).
  - **MUL** (Nhân hai số trên ngăn xếp).
  - **PUSH** (Đẩy dữ liệu lên ngăn xếp).
  - **SLOAD** (Đọc dữ liệu từ bộ lưu trữ, tốn **200 gas**).

### 🚩 Quy trình thực thi mã hợp đồng:

1. **Solidity** → **Bytecode** → **Opcodes**
2. EVM **đọc bytecode** và thực thi từng opcode.
3. Kết quả được lưu trong **bộ nhớ hoặc bộ lưu trữ hợp đồng**.

👉 EVM hoạt động như một "máy tính" xử lý bytecode để thực thi hợp đồng thông minh.

# Kiến Trúc EVM – Ngăn Xếp, Bộ Nhớ & Bộ Lưu Trữ

EVM sử dụng **mô hình dựa trên ngăn xếp (stack-based execution)**, gồm ba thành phần chính:

### 1 Ngăn Xếp (Stack)

- Lưu trữ dữ liệu tạm thời khi thực thi.
- Các opcode như **PUSH**, **POP** thao tác trên ngăn xếp.
- Ví dụ: **ADD** lấy 2 số từ ngăn xếp, cộng lại và đẩy kết quả lên ngăn xếp.

### 2 Bộ Nhớ (Memory)

- Lưu trữ dữ liệu tạm thời trong giao dịch.
- Được xóa sau khi giao dịch kết thúc.

### 3 Bộ Lưu Trữ (Storage)

- Lưu trữ dữ liệu **vĩnh viễn** trên blockchain.
- Mỗi hợp đồng có một bộ lưu trữ riêng.
- Viết vào bộ lưu trữ **tốn nhiều gas hơn** so với đọc dữ liệu.

#### ✦ Ví dụ thực tế:

- Gửi ETH **chỉ cần cập nhật ngăn xếp** (chi phí thấp).
- Gọi hợp đồng thông minh **sử dụng cả bộ nhớ & bộ lưu trữ** (tốn nhiều gas).

👉 EVM tối ưu hóa hiệu suất bằng cách sử dụng ngăn xếp và bộ nhớ tạm thời để giảm chi phí gas.

## Tại Sao EVM Trở Thành Tiêu Chuẩn?

Nhiều blockchain khác như **Binance Smart Chain (BSC)**, **Avalanche**, **Polygon** đã chọn **tương thích với EVM** để thu hút nhà phát triển Ethereum.

#### ✦ Lý do:

- ✓ **Hệ sinh thái lớn**: Ethereum có hàng nghìn dApps và nhà phát triển.
- ✓ **Dễ phát triển**: Hỗ trợ Solidity, Truffle, Remix.
- ✓ **Khả năng mở rộng**: Blockchain như BSC, Avalanche cung cấp **phí thấp & tốc độ cao hơn**, nhưng vẫn chạy hợp đồng Ethereum.

👉 EVM giúp blockchain mới tận dụng hệ sinh thái Ethereum mà không cần xây dựng từ đầu!

## So Sánh EVM Trên Ethereum & Các Blockchain Khác

Tiêu chí	Ethereum EVM	BSC (Binance Smart Chain)	Avalanche	Polygon
----------	--------------	---------------------------	-----------	---------

<b>Tốc độ giao dịch</b>	12-15 giây mỗi khối	3 giây mỗi khối	4.500 TPS	2 giây mỗi khối
<b>Phí giao dịch</b>	Cao trên Layer 1	Thấp hơn Ethereum	Thấp hơn Ethereum	Rất thấp
<b>Hệ sinh thái</b>	Lớn nhất, nhiều dApps	Đang phát triển, tập trung DeFi	Tập trung doanh nghiệp	Mở rộng Ethereum
<b>Tương thích EVM</b>	Chuẩn gốc của Ethereum	Hoàn toàn tương thích	Hoàn toàn tương thích	Hoàn toàn tương thích
<b>Đổi mới</b>	Layer 2, Rollups	Tập trung tốc độ	Subnets cho doanh nghiệp	Tối ưu phí thấp

#### 📌 Điểm đáng chú ý:

- **BSC & Avalanche:** Chạy hợp đồng Ethereum nhưng nhanh hơn & rẻ hơn.
- **Polygon:** Giúp mở rộng Ethereum với chi phí thấp.
- **Ethereum:** Vẫn là chuẩn gốc, nhưng phí gas cao hơn.

👉 EVM là nền tảng cốt lõi của Ethereum, và đã trở thành tiêu chuẩn chung cho nhiều blockchain khác.

## Kết Luận

📌 **Ethereum Virtual Machine (EVM)** là trung tâm của hệ sinh thái Ethereum, giúp thực thi hợp đồng thông minh và xử lý giao dịch.

📌 **Nhờ tính linh hoạt và khả năng mở rộng**, EVM đã trở thành tiêu chuẩn cho các blockchain như **BSC, Avalanche, Polygon**, giúp mở rộng ứng dụng Web3.

📌 **Trong tương lai**, các nâng cấp như **sharding** và **Layer 2** sẽ tiếp tục tối ưu hóa EVM, giúp Ethereum cạnh tranh mạnh mẽ hơn.

💬 **Bạn có nghĩ EVM sẽ tiếp tục thống trị blockchain trong tương lai? Hãy chia sẻ ý kiến của bạn!** 🚀