



ЦЕНТР МОЛОДЁЖНОЙ
РОБОТОТЕХНИКИ
МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

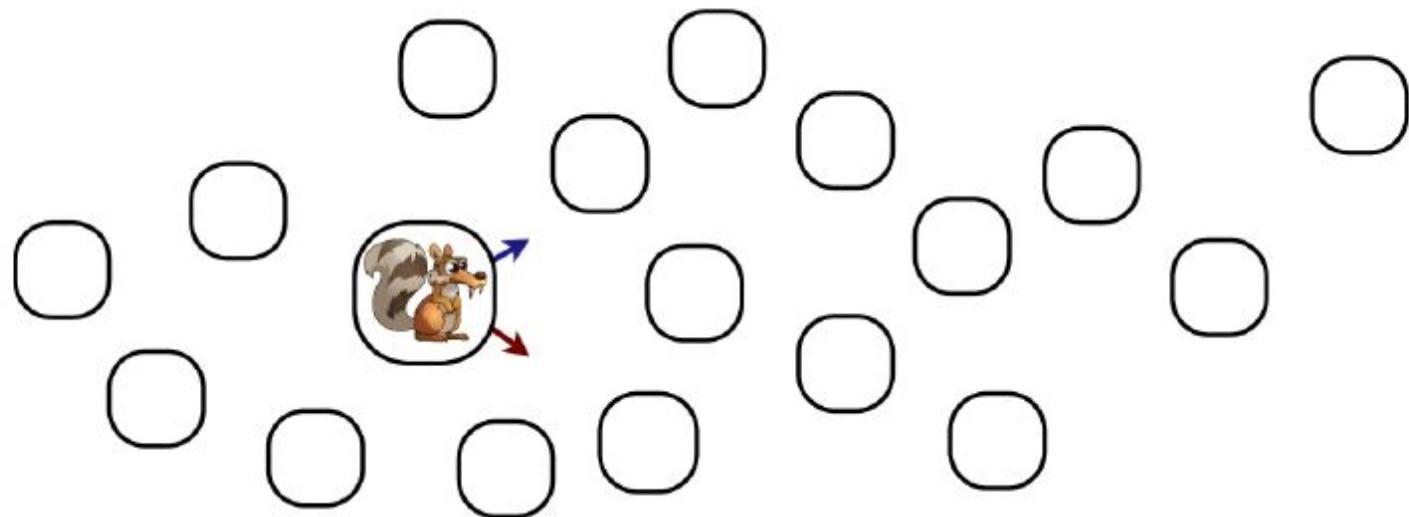
RL environment

Еще раз про среду

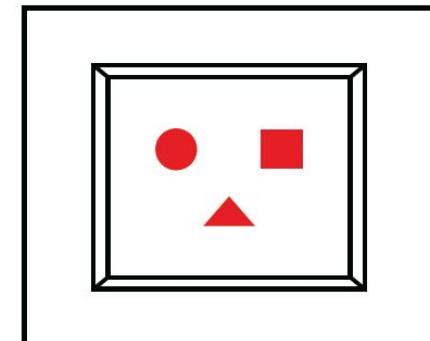
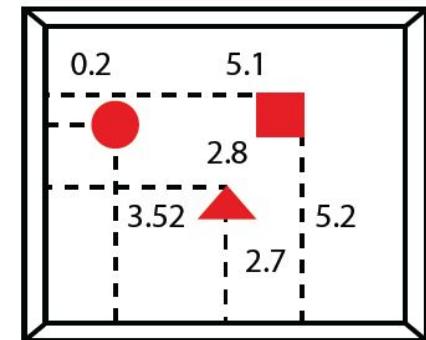
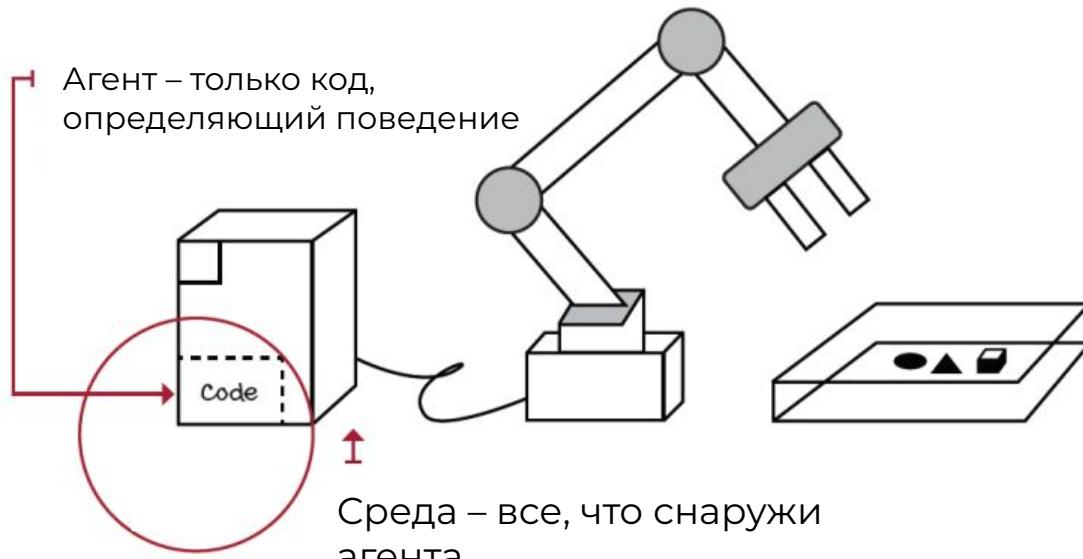
Среда – совокупность **(S,A,P,R)**, где

- **S** – пространство состояний
- **A** – пространство действий
- **P** – функция вероятности переходов $p(s' | s, a)$
- **R** – функция вознаграждения

Необходимо найти



Состояние и наблюдение



РЛ для прохождения видеоигр

- Наблюдение: изображение(я)
- Действие: движение, стрельба, поворот



- Обратная связь:
счёт/здоровье/прогресс/...

РЛ для управления вертолётами

- Наблюдение:
акселерометр, гироскоп,
данные двигателя
- Действие: изменение
скорости вращения, угла



- Обратная связь: успешность
прохождения трассы / близость
к цели и т. д. (зависит от задачи)

РЛ для прохождения гоночных трасс дроном



Autonomous Drone Racing with Deep Reinforcement Learning
<https://arxiv.org/abs/2103.08624> (2021)



Champion-level drone racing using deep reinforcement learning
<https://www.nature.com/articles/s41586-023-06419-4> (2023)

- Полностью наблюдаемая среда (MDP)



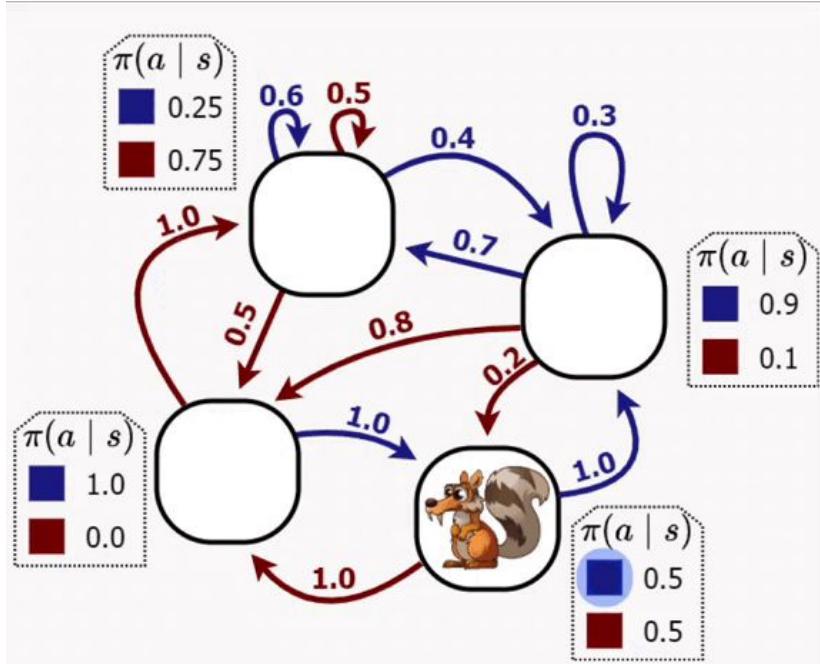
Выполняется марковское свойство: будущее зависит только от **текущего состояния**.

- Частично наблюдаемая среда (PoMDP)

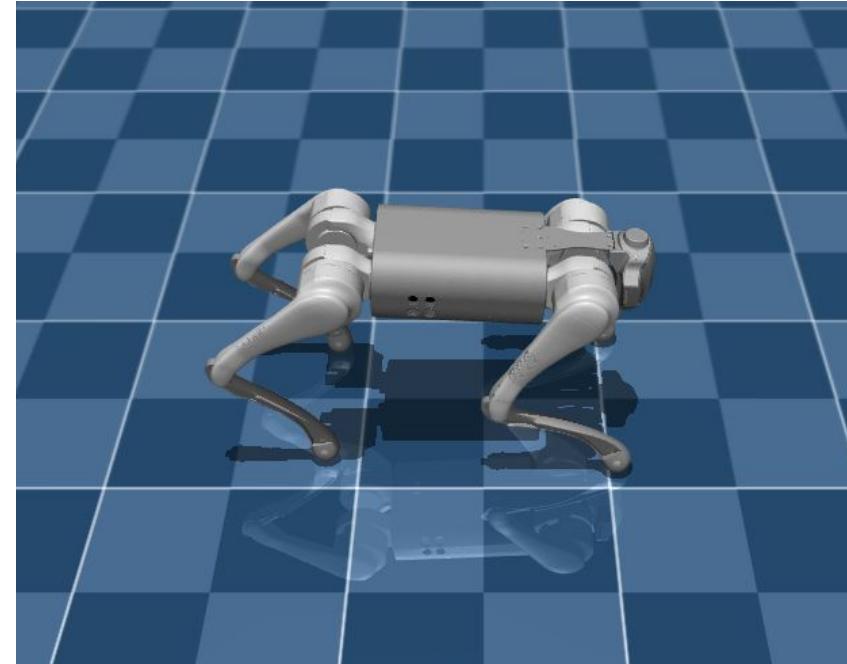


Марковское свойство нарушено → оптимальная политика зависит от **истории**.

- Дискретное пространство



- Непрерывное пространство

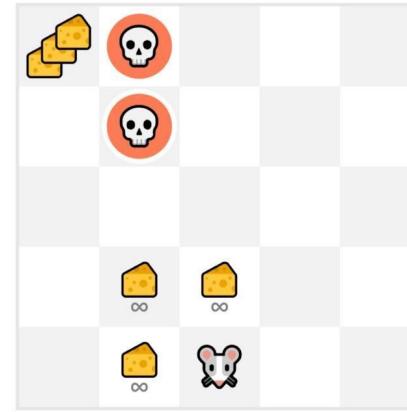
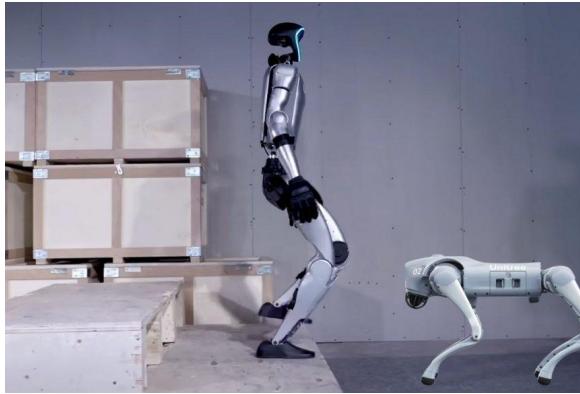


Выбор алгоритма обучения

- Дискретные действия
DQN
- Дискретные действия + параллельность
PPO или **A2C**
- Непрерывные действия
SAC, **TD3**, и **TQC**
- Непрерывные действия + параллельность
SAC, **TD3**, **CrossQ** или **TQC**

Более подробно про выбор алгоритма: <https://stable-baselines3.readthedocs.io/en/master/guide/algos.html>

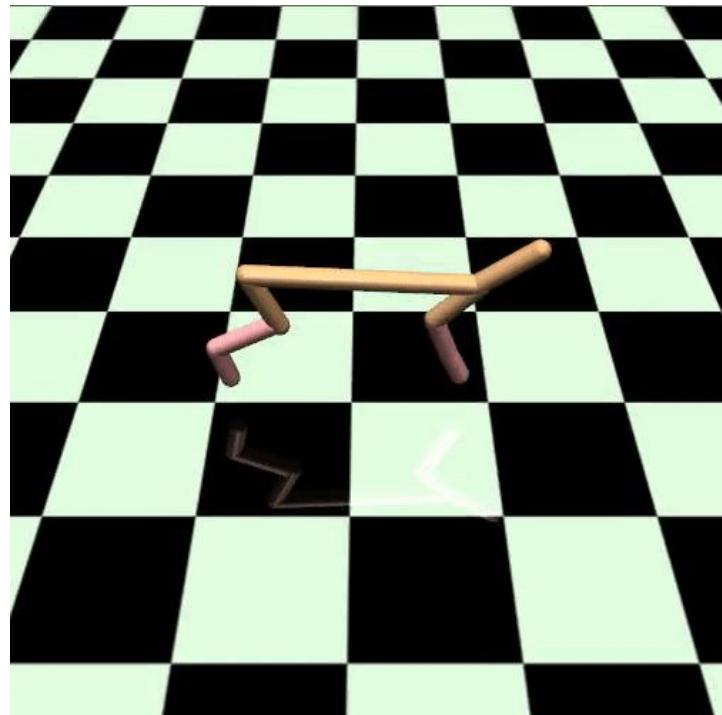
Дизайн функции награды



Успешный дизайн награды позволяет выполнять действия, в которых мы не можем полностью формализовать финальный результат, но можем направлять агента

Возможные проблемы при разработке среды

- Неинформативные наблюдения
- Разреженность награды
- "Взлом" награды



Создание своей среды (environment)

⌚ Какому навыку должен научиться агент?

- Проходить через лабиринт?
- Баланс и управление системой?
- Оптимизировать распределение ресурсов?

👀 Какая информация нужна агенту?

- Положение и скорость?
- Текущее состояние системы?
- Исторические данные?
- Частичная или полная наблюдаемость?

🎮 Какие действия может предпринять агент?

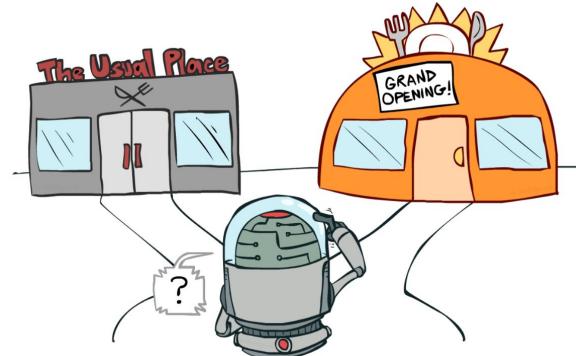
- Дискретный выбор (перемещение вверх/вниз/влево/вправо)?
- Непрерывное управление (угол поворота)?
- Несколько одновременных действий?

🏆 Как мы измеряем успех?

- Достижение конкретной цели?
- Минимизация времени или энергии?
- Максимизация оценки?

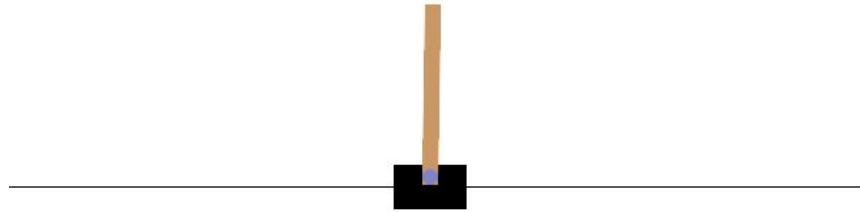
🕒 Когда должны закончиться эпизоды?

- Выполнение задачи (успех/неудача)?
- Ограничения по времени?
- Ограничения безопасности?



Cartpole

- Навык: сохранить маятник на тележке в равновесии
- Информация: наклон маятника и смещение тележки
- Действия: движение тележки вправо или влево
- Успех: Сохранение равновесия как можно дольше
- Окончание: падение маятника или достижение максимального времени



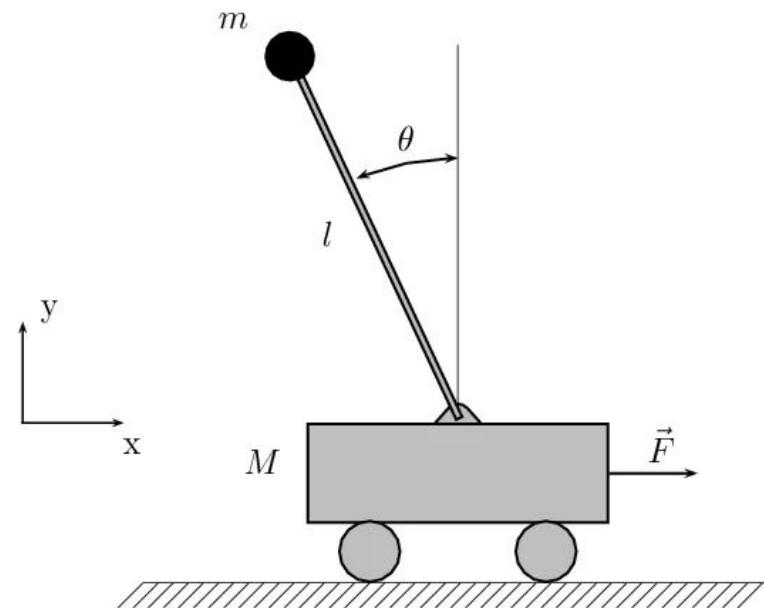
Cartpole

Пространство **наблюдений**:

- Позиция тележки
- Скорость тележки
- Угол отклонения шеста
- Угловая скорость шеста

Пространство **действий**:

- 0: Подтолкните тележку влево
- 1: Подтолкните тележку вправо



Создание среды

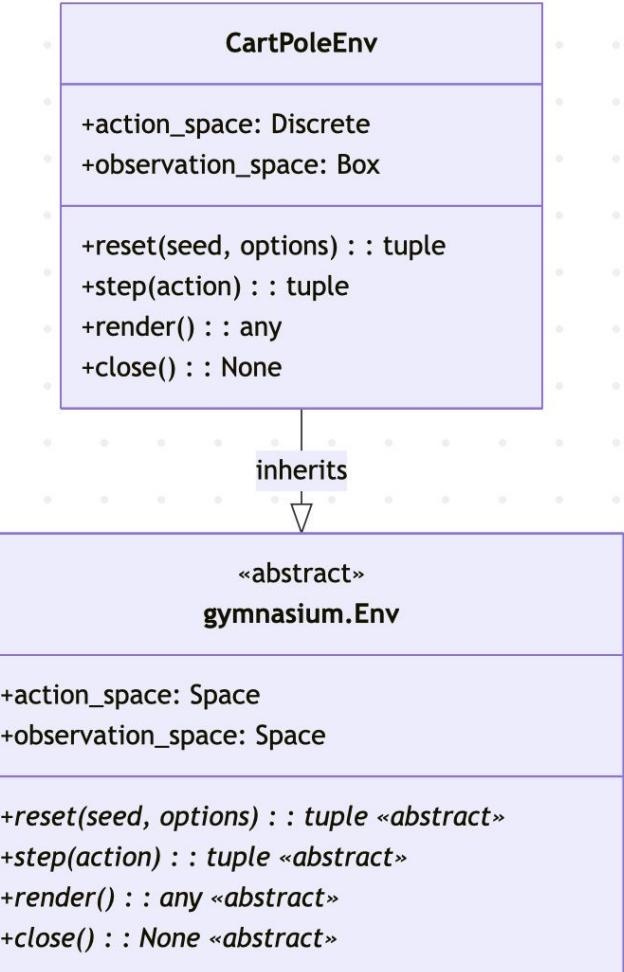
Наша пользовательская среда будет наследоваться от `gymnasium.Env`.

Нужно переопределить атрибуты:

- `self.observation_space` — наблюдения должны находиться в пределах этого пространства;
- `self.action_space` — действия должны находиться в пределах этого пространства;

И переопределить методы:

- `reset(self)` — сбрасывает среду в начальное состояние, требуется перед вызовом первого шага;
- `step(self, action)` — обновляет среду действием `action`, возвращая следующее наблюдение агента, награду и флаги окончания эпизода.



Пространства наблюдений и действий в Gymnasium

Тип пространства	Описание	Применение
Box	Непрерывное пространство произвольной размерности с заданными нижними и верхними границами.	Непрерывные действия (сила, угол), векторы состояния (позиция, скорость), пиксели изображения.
Discrete	Дискретное множество целых чисел $\{0, 1, \dots, n-1\}$.	Нажатие кнопок (влево/вправо), выбор пунктов меню, дискретные команды.
Dict	Словарь, в котором каждое значение — отдельное пространство (Box, Discrete и т.д.).	Структурированные состояния: {"position": Box, "inventory": Discrete, "status": MultiBinary}.
...		

```
# Для CartPoleEnv
action_space = spaces.Discrete(2)
observation_space = spaces.Box(-high, high, dtype=np.float32)
```

Шаг среды

`step(self, action) → (observation, reward, terminated, truncated, info)`

В методе `step`:

- Рассчитывается **новое состояние** среды (например, напрямую на основе физических уравнений, или с помощью симулятора)
- Проверяются условия окончания эпизода (**терминальное состояние**)
- Рассчитывается **награда**

Сброс среды

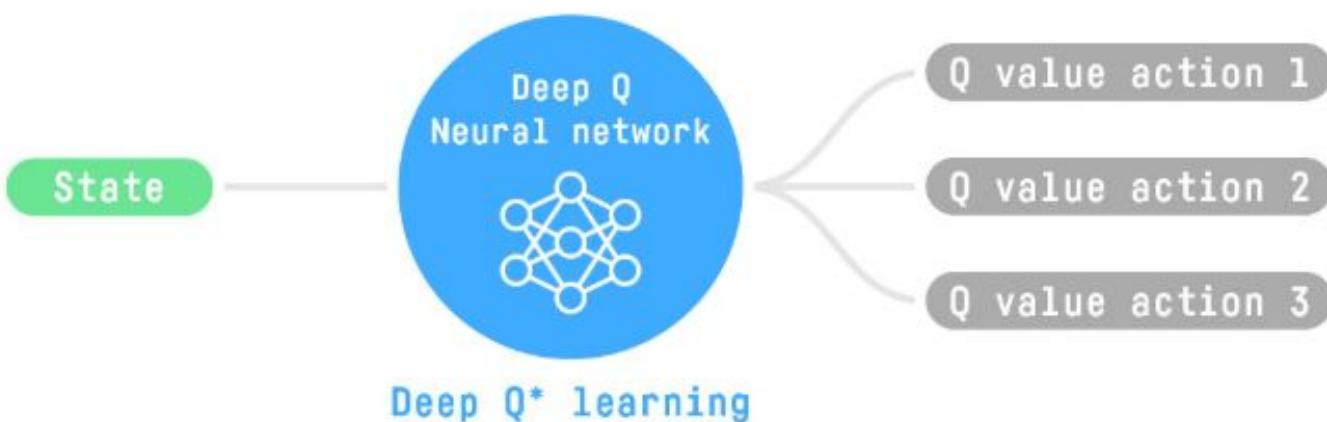
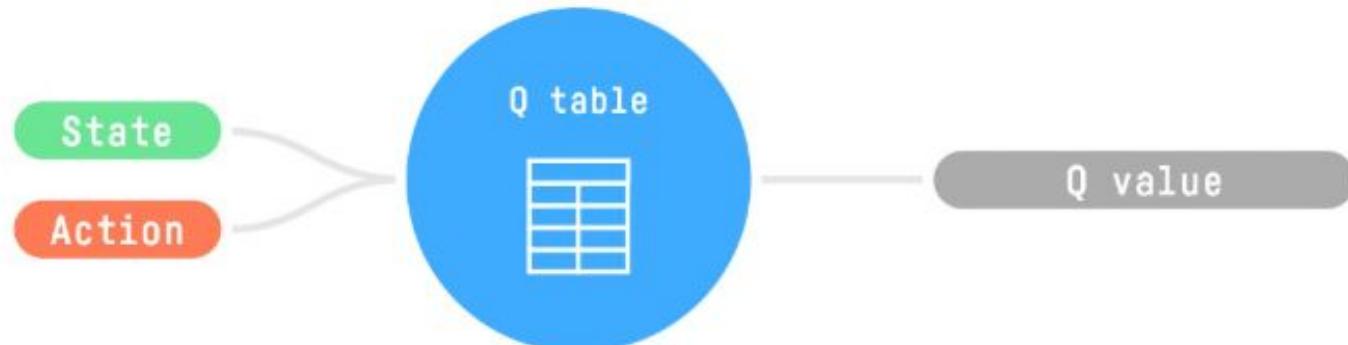
```
reset(self, seed=None, options=None) → (observation, info)
```

В методе reset:

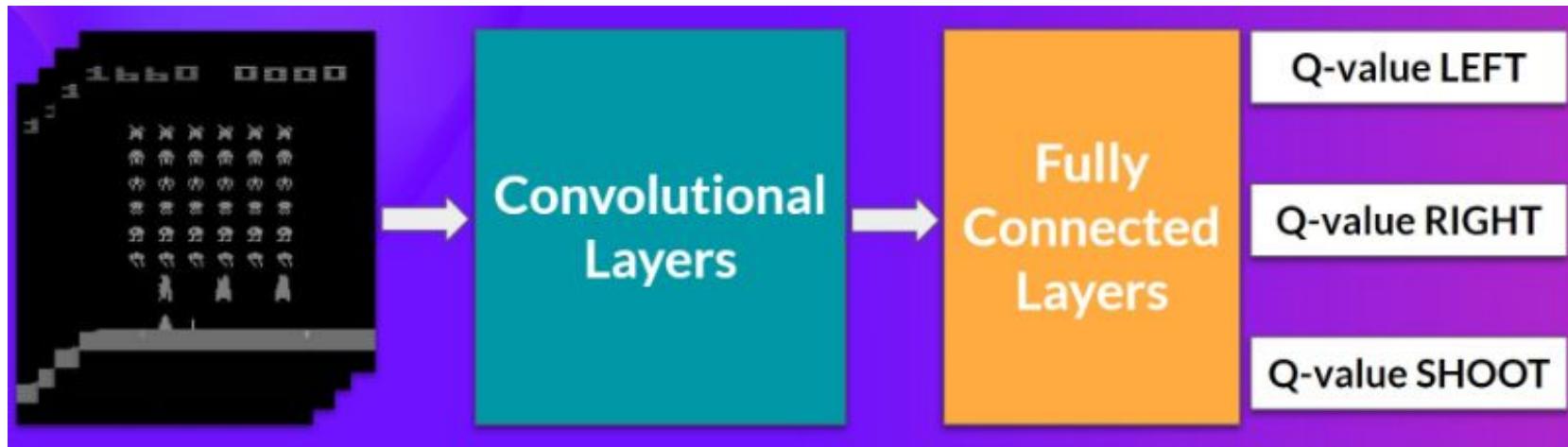
- Список наблюдений сбрасывается в начальное состояние

```
# В данном случае (CartPoleEnv) начальное состояние —  
равномерные случайные значения (-0.05, 0.05)
```

```
self.state = np.random.uniform(low=-0.05, high=0.05, size=(4,))
```



The Deep Q-Network (DQN)



Алгоритм обучения нейросети

$$Q(S_t, A_t) \leftarrow Q(S_t, A_t) + \alpha[R_{t+1} + \gamma \max_a Q(S_{t+1}, a) - Q(S_t, A_t)]$$

New
Q-value
estimation

Former
Q-value
estimation

Learning
Rate

Immediate
Reward

Discounted Estimate
optimal Q-value
of next state

Former
Q-value
estimation

TD Target

TD Error

Нормализация

Зачем нормализовать?

Большинство RL-алгоритмов предполагают **гауссово распределение**. Нормализация ускоряет обучение и стабилизирует градиенты.

Ситуация	Решение
Известны границы, распределение нормальное	Наблюдение / Max_Значение <i>Пример: координата тележки в CartPole</i>
Границы неизвестны, распределение неизвестно	Z-score Running Norm $(x - \text{running_mean}) / \text{running_std}$ <i>(де-факто стандарт в RL)</i>
Большие выбросы (типично для ускорений)	Вариант 1: Клиппинг + Z-погр Вариант 2: Нелинейное преобразование (например, \tanh)
Очень большие выбросы, содержащие важную информацию (нельзя клиппать)	Только эксперименты (\tanh не подойдёт, так как сожмёт основную массу данных)

Пространство действий

- Способ 1:** Используйте \tanh в качестве финальной функции активации в policy. Это автоматически дает диапазон $[-1, 1]$ и корректные градиенты.
- Способ 2:** Линейно масштабируйте выход сети в $[-1, 1]$. Для ограничения диапазона используйте $\text{clip}()$, но не сломайте градиенты.

Нормализация

Т. к. большинство алгоритмов обучения с подкреплением полагаются на **гауссово распределение**:

- всегда нормализуйте свое пространство **наблюдений**, если можете, т.е. если вы знаете границы
- нормализуйте свое пространство **действий** и сделайте его симметричным, если оно непрерывное

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

```
# метод обёртки (wrapper) NormalizeObservation

def normalize(self, obs):
    """Нормализует наблюдение, используя скользящее среднее значение
    и дисперсию наблюдений"""
    self.obs_rms.update(obs)
    return (obs - self.obs_rms.mean) / np.sqrt(self.obs_rms.var +
self.epsilon)
```