

# ІНФОРМАТИКА ТА ПРОГРАМУВАННЯ

---

Тема 19. Метакласи та  
метапрограмування

# Метакласи

- Ми вже розглядали застосування класів та об'єктів, одинарне та множинне наслідування, використання класів у рекурсивних структурах даних та для обробки виключень.
- Ці області застосування об'єктно-орієнтованого підходу є стандартними.
- Але існують і більш екзотичні сценарії використання класів, у тому числі, пов'язані зі специфікою їх реалізації у Python.
- Це, зокрема, метакласи.
- Ми вже знаємо, що у Python «все є об'єкт».
- Було б дивно, якби це правило не розповсюджувалось на класи. І дійсно, класи у Python також є об'єктами.
- Але виникає питання: об'єктами чого є класи? Відповідь: класи є об'єктами інших класів.
- Для того, щоб уникнути плутанини, ці «інші» класи мають спеціальну назву – метакласи.
- Отже, **метакласом** називається клас, об'єктами якого є класи.
- Так само, як клас створює об'єкти, метаклас створює класи.

# Метакласи.2

- Усі метакласи походять від єдиного стандартного батьківського класу `type`.
- Для метакласів існує наслідування, як і для звичайних класів.
- Таким чином, будь-який метаклас наслідує безпосередньо від `type` або його нащадків.
- Отже, якщо маємо опис

**class MyMeta(type):**

**Q**

- то `MyMeta` – це метаклас.

# Метакласи.3

- Кожний «звичайний» клас обов'язково має метаклас.
- Якщо метаклас не вказано, то цим метакласом вважається type.
- Якщо ж треба вказати інший метаклас, відмінний від type, це робиться за допомогою ключового параметра metaclass у заголовку класу разом з вказанням батьківських класів

**class MyClass(metaclass = MyMeta):**

**P**

- У цьому випадку метакласом класу MyClass буде MyMeta.

# Метакласи.4

- За висловом Тіма Пітерса, «метакласи є більш глибокою магією, про яку 99% користувачів не повинні турбуватись. Якщо, ви розмірковуєте, чи потрібні вони вам, - вони вам непотрібні».
- Але ми розглянемо декілька реальних сценаріїв, у яких метакласи дійсно потрібні.



# Абстрактні класи

- Клас називається **абстрактним**, якщо його об'єкти не можуть бути створені самі по собі, але він є батьківським класом у деякій ієрархії класів.
- Наприклад, клас Shape – геометрична фігура.
- Створення об'єктів цього класу не має сенсу, але його класи-нащадки – Circle (коло) Rectangle (прямокутник) вже є конкретними класами, для яких можуть існувати об'єкти.
- Можна сказати, що абстрактний клас задає певну сигнатуру, яку потім реалізують його класи-нащадки.
- У Python клас вважається абстрактним, якщо він містить хоча б один абстрактний метод.

# Абстрактні класи.2

- Абстрактний метод позначається за допомогою декоратора

***@abstractmethod***

**def method():**

**pass**

- де method – ім'я методу.
- Тіло абстрактного методу – це тотожна команда pass.
- Абстрактними можуть бути також властивості.
- У такому випадку треба послідовно вказати декоратори:

***@property***

***@abstractmethod***

**def prop():**

**pass**

- де prop – ім'я властивості.
- Абстрактний клас обов'язково повинен мати в якості метакласу стандартний метаклас ABCMeta або один з його нащадків.
- Інакше декоратор @abstractmethod

# Приклад: зображення точок та кіл

- Скласти модуль для зображення та переміщення точок та кіл по екрану.
- Цю задачу ми вже розглядали у темі «Класи та об'єкти».
- Ми описували 2 класи: Point та Circle, які використовували графічну бібліотеку turtle.
- Пізніше у темі «декоратори» ми модифікували ці класи, задавши властивості.
- Уявімо, що нам може знадобитися інша графічна бібліотека замість turtle для зображення точок та кіл.
- Як зробити, щоб у цьому випадку нам не довелося переписувати повністю наші класи Point та Circle?



# Реалізація зображення точок та кіл

- Розв'язання полягає у використанні абстрактного класу для зображення точок та кіл, включення об'єкту цього класу як поля у класи Point та Circle та опису нащадка цього класу, який буде використовувати бібліотеку turtle.
- Цей абстрактний клас ми назвемо Drawable, а клас-нащадок, що використовує turtle, - TurtleDraw.
- Тепер, якщо виникне необхідність застосувати іншу графічну бібліотеку, нам достатньо буде описати клас-нащадок Drawable з відповідними методами, не змінюючи описи класів Point та Circle.
- Клас Drawable

# Реалізація зображення точок та кіл. Drawable

```
class Drawable(metaclass = ABCMeta):
```

```
    """Абстрактний клас для зображення точок та кіл заданих  
    розмірів та кольору"""
```

```
    @property
```

```
    @abstractmethod
```

```
    def color(self):
```

```
        """Властивість, що повертає/встановлює колір переднього  
        плану."""
```

```
        pass
```

```
    @color.setter
```

```
    @abstractmethod
```

```
    def color(self, cl):
```

```
        pass
```

# Реалізація зображення точок та кіл. Drawable.2

***@property***

***@abstractmethod***

**def bgcolor(self):**

**"""Властивість, що повертає/встановлює колір  
фону."""**

**pass**

***@bgcolor.setter***

***@abstractmethod***

**def bgcolor(self, cl):**

## Реалізація зображення точок та кіл. Drawable.3

***@abstractmethod***

**def draw\_point(self, x, y, cl):**

**"""Зобразити точку з координатами x, y кольором cl."""**

**pass**

***@abstractmethod***

**def draw\_circle(self, x, y, r, cl):**

**"""Зобразити коло з координатами центру x, y радіусом r кольором cl."""**

# Реалізація зображення точок та кіл. TurtleDraw

- Клас TurtleDraw реалізує властивості та методи, описані у абстрактному класі Drawable, а також має конструктор для ініціалізації бібліотеки turtle.

```
class TurtleDraw(Drawable):
```

```
    """Клас для зображення точок та кіл заданих розмірів та  
    кольору.
```

```
    TurtleDraw є нащадком абстрактного класу Drawable та  
    використовує засоби
```

```
    роботи з графікою з модуля turtle.      """
```

```
def __init__(self):
```

```
    pause = 50
```

```
    turtle.up()
```

```
    turtle.home()
```

```
    turtle.delay(pause)
```

# Реалізація зображення точок та кіл. TurtleDraw.2

***@property***

```
def color(self):
```

```
    """Властивість, що повертає/встановлює колір переднього плану."""
```

```
    return turtle.pencolor()
```

***@color.setter***

```
def color(self, cl):
```

```
    turtle.pencolor(cl)
```

***@property***

```
def bgcolor(self):
```

```
    """Властивість, що повертає/встановлює колір фону."""
```

```
    return turtle.bgcolor()
```

***@bgcolor.setter***

```
def bgcolor(self, cl):
```

```
    turtle.bgcolor(cl)
```

# Реалізація зображення точок та кіл. TurtleDraw.3

```
def draw_point(self, x, y, cl):
```

```
    """Зобразити точку з координатами x, y кольором cl."""
```

```
    turtle.up()
```

```
    turtle.setpos(x, y)
```

```
    turtle.down()
```

```
    turtle.dot(cl)
```

```
def draw_circle(self, x, y, r, cl):
```

```
    """Зобразити коло з координатами центру x, y радіусом r кольором cl."""
```

```
    c = self.color
```

```
    self.color = cl
```

```
    turtle.up()
```

```
    turtle.setpos(x, y-r) #малює починаючи знизу кола
```

```
    turtle.down()
```

```
    turtle.circle(r)
```

```
    self.color =
```

# Реалізація зображення точок та кіл. Point та Circle

- Класи Point та Circle містять поле `_d`, яке під час створення повинно набувати значення об'єкта класу, що є нащадком абстрактного класу `Drawable`.
- Для класу Point реалізація виглядає так:

```
class Point:
```

```
    """Точка екрану"""
```

```
    count = 0
```

```
    def __init__(self, x, y, drawable):
```

```
        self._x = x           # _x - координата x точки
```

```
        self._y = y           # _y - координата y точки
```

```
        self._visible = False # _visible - чи є точка видимою на екрані
```

```
        self._d = drawable() # _d - об'єкт класу-нащадка
```

```
            # абстрактного класу Drawable
```

```
        Point.count += 1
```



# Реалізація зображення точок та кіл. Point та Circle.2

***@property***

**def x(self):**

**"""Повертає координату x точки"""**

**return self.\_x**

***@property***

**def y(self):**

**"""Повертає координату y точки """**

**return self.\_y**

***@property***

**def onscreen(self):**

**"""Перевіряє, чи є точка видимою на екрані"""**

**return self.\_**

## Реалізація зображення точок та кіл. Point та Circle.3

```
def switchon(self):
```

```
    """Робить точку видимою на екрані """
```

```
    if not self._visible:
```

```
        self._visible = True
```

```
        self._d.draw_point(self._x,self._y,self._d.color)
```

```
def switchoff(self):
```

```
    """Робить точку невидимою на екрані"""
```

```
    if self._visible:
```

```
        self._visible = False
```

```
        self._d.draw_point(self._x,self._y,self._d.bgcolor)
```

# Реалізація зображення точок та кіл. Point та Circle.4

```
def move(self, dx, dy):  
    """Пересуває точку на екрані на dx, dy позицій"""  
    vis = self._visible  
    if vis:  
        self.switchoff()  
    self._x += dx  
    self._y += dy  
    if vis:  
        self.switchon()  
  
@staticmethod  
def printcount():  
    print('Кількість точок:', Point.count)
```

- У основній частині модуля створення об'єкту класу Point виконується командою  
**p = Point(50,50,TurtleDraw)**
- Основна частина модуля створює точку та коло, а потім переміщує їх по екрану.

# Метапрограмування

- **Метапрограмування** – це побудова програм, які сприймають інші програми як дані.
- Тобто, таких програм, які модифікують програми «на льоту».
- Розглянуті раніше декоратори функцій можуть вважатись прикладом метапрограмування.
- У Python термін метапрограмування має більш вузьку трактовку – це модифікація класів під час виконання програм.
- Оскільки клас – це об'єкт, клас може бути модифікований під час виконання програми.
- 
-

# Декоратори класів

- Одним з прийомів метапрограмування є застосування декораторів класів.
- Раніше ми розглядали декоратори функцій.
- Побудова декораторів класів не складніша за побудову декораторів функцій.
- Декоратор класу – це функція, що отримує клас як параметр, модифікує його та повертає модифікований клас в якості результату.
- Стандартний шаблон декоратора класів виглядає так

```
def cls_decorator(cls):  
    #модифікувати клас  
    return cls
```

# Декоратори класів.2

- Для застосування декоратора до класу А треба вказати

**@cls\_decorator**

**class A():**

**Q**

- де Q – опис полів та методів класу А.

## Приклад: перевірка, чи є граф деревом, та відслідковування дій над графом

- Перевірити, чи є граф деревом. Здійснити відслідковування виконання дій над графом.
- Цей приклад був розглянутий у темі «Множинне наслідування». Реалізація тоді базувалась на використанні класів-домішків.
- Як і у темі «Множинне наслідування», використаємо клас `GraphIt` – граф з ітератором – описаний у темі «Ітератори та генератори».
- У цьому класі також є методи, що повертають напівстепінь входу та виходу вершини графу: `hdegIn`, `hdegOut`.
- Зараз для реалізації застосуємо декоратор класу.

# Реалізація перевірки, чи є граф деревом, з використанням декоратора класу

- Опишемо декоратор `logged_mapping()`, що модифікує заданий клас так, щоб здійснювати виведення факту використання операцій читання, зміни та видалення елемента деякого типу даних.
- Цей декоратор містить перевизначення спеціальних методів `__getitem__`, `__setitem__` та `__delitem__`, які відповідають за виконання вищевказаних функцій.

**def logged\_mapping(cls):**

```
    """Додати виведення операцій get/set/delete для налагодження.  
    """
```

```
    #Отримати наявні у класі методи __getitem__, __setitem__,  
    __delitem__
```

```
    orig_getitem = cls.__getitem__
```

```
    orig_setitem = cls.__setitem__
```

```
    orig_delitem = cls.__delitem__
```



## Реалізація перевірки, чи є граф деревом, з використанням декоратора класу.2

```
def log_getitem(self, key):  
    print('Getting ' + str(key))  
    return orig_getitem(self, key)  
  
def log_setitem(self, key, value):  
    print('Setting {} = {!r}'.format(key, value))  
    return orig_setitem(self, key, value)  
  
def log_delitem(self, key):  
    print('Deleting ' + str(key))  
    return orig_delitem(self, key)
```

## Реалізація перевірки, чи є граф деревом, з використанням декоратора класу.3

**#Зберегти у класі модифіковані методи  
\_\_getitem\_\_, \_\_setitem\_\_, \_\_delitem\_\_**

**cls.\_\_getitem\_\_ = log\_getitem**

**cls.\_\_setitem\_\_ = log\_setitem**

**cls.\_\_delitem\_\_ = log\_delitem**

**return cls**

- Щоб не наводити повторно опис класу GraphIt, опишемо його клас-нащадок LoggedGraph з порожньою реалізацією.
- До класу LoggedGraph застосуємо наш декоратор logged\_mapping

# Реалізація перевірки, чи є граф деревом, з використанням декоратора класу.4

**@logged\_mapping**

**class LoggedGraph(GraphIt):**

**"""Клас, що успадковує від GraphIt.**

**Застосовується декоратор logged\_mapping**

**"""**

**pass**

- Модуль, який містить описи класу LoggedGraph та декоратора logged\_mapping, також використовує функції з побудови графу із файлу fileinputgraph та перевірки, чи є граф деревом istree.
- Ці функції були описані у темах «Рекурсивні структури даних» та «Ітератори та генератори».

# Класові методи

- Для модифікації класів часто використовують так звані «класові методи».
- **Класовий метод** – це метод, який застосовується до класу, а не до екземпляру класу.
- Класовий метод містить клас (зазвичай позначений `cls`) як перший параметр.
- Нагадаємо, що звичайний метод містить першим параметром об'єкт (`self`), до якого застосовується цей метод, а статичний метод не містить спеціального першого параметру.
- У Python класові методи можуть бути як вбудованими, так і створеними власноруч.
- Вбудовані класові методи, як і інші спеціальні методи беруться у подвійне підкреслення `'__'`

# Класові методи.2

- Серед вбудованих класових методів частіше використовують метод `__new__`.
- Цей метод викликається перед створенням будь-якого об'єкту будь-якого класу. Його виклик передує виклику методу `__init__`.
- Тому `__new__` застосовують для модифікації поведінки об'єкта класу (а отже – і самого класу).
- Метод `__new__` в якості першого параметру містить ім'я класу, а інші параметри – ті ж самі, які передаються у метод `__init__`. Якщо `__new__` описують для модифікації довільного класу, то застосовують найбільш загальне позначення аргументів:

```
def __new__(cls, *args, **kwargs):
```

***P***

- Щоб описати власний класовий метод, треба застосовувати декоратор `@classmethod`

```
@classmethod
```

```
def meth(cls, ...):
```

## Словник атрибутів класу

- Усі атрибути класу містяться у спеціальному словнику `__dict__`.
- Ключами в ньому є імена атрибутів.
- Значеннями атрибутів, що є полями, є їх значення.
- Для атрибутів, що є методами, значеннями є відповідні методи.
- Модифікуючи словник `__dict__`, можна додавати нові поля або методи, а також змінювати наявні методи іншими.

# Створення класів у динаміці

- Класи у Python можна створювати не тільки статично, вказуючи опис класу, але й у динаміці.
- Для створення класів у динаміці можна застосувати функції `type()` або `types.newclass()`.
- Функція `type` може мати 1 або 3 аргументи.
- Якщо функція має 1 аргумент, вона просто повертає тип цього аргументу.
- Якщо ж `type` має 3 аргументи, вона створює новий клас.
- Щоб створити новий клас за допомогою `type`, треба у її виклику вказати:

**`cls = type(classname, bases, cls_dict)`**

- де `classname` – ім'я нового класу (рядок), `bases` – кортеж, що містить класи-предки, `cls_dict` – словник `__dict__`

# Створення класів у динаміці.2

- Наприклад, опис двох функцій та створення класу

```
def __init__(self,x):  
    self.x = x
```

```
def plus1(self):  
    self.x = self.x + 1  
    print(self.x)
```

```
A = type('A', (), {'__init__':__init__, 'plus1': plus1})
```

- Рівносильно такому опису класу

```
class A():  
    def __init__(self,x):  
        self.x = x  
  
    def plus1(self):  
        self.x = self.x + 1  
        print(self.x)
```



# Створення класів у динаміці.3

- Функція `types.newclass()` з модуля `types` відрізняється від функції `type()` своїми параметрами.
- Вона має 4 параметри

**`cls = types.newclass(classname, bases, kwds, exec_body)`**

- де `classname` – ім'я нового класу (рядок),
- `bases` – кортеж, що містить класи-предки,
- `kwds` – словник з ключовими параметрами, які вказують у заголовку опису класу (наприклад, `metaclass`),
- `exec_body` – це функція яка буде викликатися при створенні класу для оновлення словника класу. Ця функція повинна мати 1 параметр – словник класу – та повертати оновлений словник.
- Як правило, у якості `exec_body` вказують `lambda`-функцію, хоча це може бути і звичайна функція. Типове значення параметру `exec_body`:

**`lambda ns: ns.update(cls_dict)`**

- де `cls_dict` – словник, що містить оновлення словника класу.
- Функція `types.newclass()` є більш гнучкою у порівнянні з `type()`, оскільки надає можливість вказати метаклас, а також вказати тільки зміни до словника класу.

## Приклад створення класу у динаміці: іменовані кортежі

- Реалізувати клас для іменованого кортежу та використати його для обчислення центру мас системи точок простору та максимальної відстані між точками.
- Цей приклад був розглянутий у темі «Кортежі».
- Тоді ми використали стандартну функцію `namedtuple` з модуля `collections`.
- Ця функція будує новий клас іменованого кортежу за ім'ям та переліком полів, використовуючи команду `exec`, яка дозволяє виконати побудований рядок програмного коду.

## Реалізація створення класу у динаміці: іменовані кортежі

- Зараз ми розглянемо інший підхід.
- Опишемо функцію `named_tuple`, яка будує клас іменованого кортежу в динаміці (взято з "Python Cookbook" by David Beazley and Brian K. Jones).

```
def named_tuple(classname, fieldnames):
```

```
    """Функція створює та повертає клас, що реалізує  
    іменований кортеж.
```

```
        classname - ім'я створюваного класу,
```

```
        fieldnames - послідовність імен полів.
```

```
        Функція повертає модифікований клас для  
        реалізації звичайних кортежів (tuple),
```

```
        змінюючи в ньому метод __new__
```

```
    """
```

## Реалізація створення класу у динаміці: іменовані кортежі.2

**# Заповнити словник функціями доступу до полів кортежу за їх номерами**

**# Ключі у словнику - імена полів іменованого кортежу**

**# cls\_dict буде містити імена атрибутів нового класу**

**# operator.itemgetter(n) - функція, що повертає n-ий елемент послідовності**

```
cls_dict = { name: property(operator.itemgetter(n))  
                for n, name in enumerate(fieldnames) }
```

**# Створити нову функцію \_\_new\_\_ та додати до словника класу**

```
def __new__(cls, *args):
```

```
    if len(args) != len(fieldnames):
```

```
        #перевірити, чи рівна кількість полів при ініціалізації об'єкта
```

```
        #кількості полів у описі класу
```

```
        raise TypeError('Expected {} arguments'.format(len(fieldnames)))
```

```
# викликати та повернути результат __new__ з tuple
```

```
return tuple.__new__(cls, args)
```

## Реалізація створення класу у динаміці: іменовані кортежі.3

```
cls_dict['__new__'] = __new__
```

```
# Створити клас за допомогою types.new_class
```

```
cls = types.new_class(classname, (tuple,), {},  
                      lambda ns: ns.update(cls_dict))
```

```
#У даному випадку можна було використати й функцію type  
наступним чином:
```

```
# cls = type(classname, (tuple,), cls_dict)
```

```
# встановити ім'я модуля рівним імені модуля, звідки  
викликається named_tuple
```

```
cls.__module__ = sys.getframe(1).f_globals['__name__'] #ненадійно!  
return
```

## Реалізація створення класу у динаміці: іменовані кортежі.4

- Ця функція будує новий клас іменованого кортежу як нащадку стандартного класу кортежів `tuple`.
- Для побудови модифікується метод `__new__`.
- Також у новий клас додаються методи отримання значення поля за його ім'ям (використовується функція `operator.itemgetter(n)` з модуля `operator`, що повертає відповідний елемент послідовності з номером `n`).
- Новий клас будується з використанням функції `types.newclass()`.
- Головний модуль програми практично не відрізняється від розглянутого у темі «Кортежі», за виключенням того, що він імпортує створену нами функцію `named_tuple` замість стандартної функції `namedtuple`.

# Написання власних метакласів

- Власні метакласи також є засобом метапрограмування, оскільки вони здатні вносити зміни до класів або створювати нові класи.
- Власний метаклас повинен бути нащадком `type` або одного з його нащадків.
- Для того, щоб метаклас впливав на створення класу, що є його об'єктом, потрібним чином, використовують перевизначення методів `__new__`, `__init__` або `__call__`.
- Якщо з `__new__` та `__init__` ми вже зустрічались, то метод `__call__` потребує додаткового пояснення.
- Цей метод викликається при створенні об'єкта деякого класу, але після `__new__` та `__init__`

## Приклад використання метакласів: класи подібні структурам

- Розглянемо ту ж сам задачу: обчислити центр мас системи точок простору та максимальну відстань між точками.
- Якщо у попередньому прикладі ми використали функцію для побудови класу іменованого кортежу, то тепер використаємо метаклас, який будує класи, що подібні структурам у C, тобто, ті ж кортежі, доступ до елементів яких здійснюється за іменами полів.
- Опишемо метаклас `StructTupleMeta` та клас `StructTuple`, що використовує `StructTupleMeta` як метаклас (взято з "Python Cookbook" by David Beazley and Brian K. Jones)



# Приклад використання метакласів: класи подібні структурам.2

```
class StructTupleMeta(type):
```

```
    """Метаклас, що створює клас, подібний структурі C.
```

```
    Метаклас доповнює словник створюваного класу властивостями  
з іменами, що містяться у списку _fields.
```

```
    Для читання значення кожної властивості використовується  
operator.itemgetter(n) - отримання n-го елемента послідовності"""
```

```
def __init__(cls, name, bases, namespace):
```

```
    """Конструктор __init__ метакласу.
```

```
    Приймає параметри для створення класу (не об'єкту!).
```

```
    cls - клас, name - його ім'я,
```

```
    bases - кортеж з базових класів, namespace - словник класу"""
```

```
    #Виклик конструктора базового класу
```

```
    super().__init__(name, bases, namespace)
```

```
    for n, name in enumerate(cls._fields):
```

```
        #додати у клас властивість з ім'ям name
```

```
        #та методом читання operator.itemgetter(n)
```

```
        setattr(cls, name, property(operator.itemgetter(n
```

## Приклад використання метакласів: класи подібні структурам.3

- Клас StructTuple також є нащадком стандартного класу tuple.

```
class StructTuple(tuple, metaclass=StructTupleMeta):
```

```
    """Клас, подібний структурі C.
```

```
    Модифікує __new__ для перевірки рівності кількості полів та  
параметрів
```

```
    """
```

```
    _fields = [] #список імен полів
```

```
    def __new__(cls, *args):
```

```
        if len(args) != len(cls._fields):
```

```
            raise ValueError('{} arguments  
required'.format(len(cls._fields)))
```

```
            return tuple.__new__(cls, args) #виклик tuple.__new__ для  
створення кортежу
```

## Приклад використання метакласів: класи подібні структурам.4

- Тепер ми можемо породжувати класи-нащадки від `StructTuple`, вказуючи у їх полі `_field` список імен полів нашого кортежу.
- Наприклад, для точки простору опис класу буде виглядати так:

```
class Point3(StructTuple):
```

```
    _fields = ['x','y','z']
```

- Цей опис вказано у головному модулі, залишок якого після опису класу `Point3` не відрізняється від розглянутого у темі «Кортежі».

# Резюме

- Ми розглянули:
  1. Метакласи. Оголошення метакласу у класі.
  2. Абстрактні класи
  3. Метапрограмування
  4. Декоратори класів
  5. Класові методи
  6. Побудова класів у динаміці
  7. Написання власних метакласів

# Де прочитати

1. Обвінцев О.В. Об'єктно-орієнтоване програмування. Курс на основі Python. Матеріали лекцій. – К., Основа, 2017
2. Марк Лутц, Изучаем Python, 4-е издание, 2010, Символ-Плюс
3. Python 3.4.3 documentation
4. Марк Саммерфилд, Программирование на Python 3. Подробное руководство. - Символ-Плюс, 2009.
5. Tarek Ziadé. Expert Python Programming. - Packt Publishing, 2008.
6. David Beazley and Brian K. Jones, Python Cookbook. - O'Reilly Media, 2013.
7. <http://python-3-patterns-idioms-test.readthedocs.org/en/latest/Metaprogramming.html#basic-metaprogramming>
8. <http://blog.ionelmc.ro/2015/02/09/understanding-python-metaclasses/>
9. <http://habrahabr.ru/post/65625/>
10. [http://www.python-course.eu/python3\\_metaclasses.php](http://www.python-course.eu/python3_metaclasses.php)
11. <http://lgiordani.com/blog/2014/10/14/decorators-and-metaclasses/#.VpFyGfmLTDC>
12. <http://eli.thegreenplace.net/2011/08/14/python-metaclasses-by-example>