Мухамадиев Владимир

# Задание 5

## Загрузка и предварительная обработка

```
In[1]:= data1 = Import[NotebookDirectory[] <> "\\bio-diseasome.txt", "Data"];
        импорт  директория файла блокнота

In[2]:= el1 = Table[data1[[i, 1]] ⟷ data1[[i, 2]], {i, 1, Length[data1]}];
        таблица значений                            длина

In[3]:= g1 = Graph[el1];
        граф

In[4]:= MeanShortestPath[g_] := N[Total[Flatten[GraphDistanceMatrix[g]]] / (VertexCount[g]^2 - VertexCount[g])]
         численное приближение
```

## 1. Конфигурационная модель сетей со степенным распределением

### Генерирует граф в виде списка ребер по заданным степеням вершин

```
In[5]:= EdgeListByDegreeDistribution[dist_] := If[Mod[Total[dist], 2] == 0,
                                                  ··· ос··· суммировать

  Module[{in = dist, vl = Range[Length[dist]], out = ConstantArray[{}, Total[dist]/2],
  программный модуль   диап··· длина            постоянный массив

    temp = {{}, {}}}, Do[Do[temp[[j]] = RandomChoice[vl];
                         ··· оператор цикла  случайный выбор

     While[in[[temp[[j]]]] == 0, temp[[j]] = RandomChoice[in → vl]];
     цикл–пока                               случайный выбор

     in[[temp[[j]]]] = in[[temp[[j]]]] - 1, {j, 1, 2}];

    out[[i]] = Sort[temp][[1]] ⟷ Sort[temp][[2]], {i, 1, Total[dist]/2}}];
               сортировать       сортировать

   out], Print["Error: Σ≠2n"]]
         печатать
```

## Сравнение теоретических и фактических значений характеристик графа

In[6]:=
```
FC1[dist_, g_] := Grid[{{"Характеристики графа", "Теория", "Модель"},
                  таблица
 {"Число мультиребер", N[1/2 (Mean[dist^2] - Mean[dist])/Mean[dist])^2], Length[
                       численное приближение                              длина
   DeleteCases[Normal[Counts[DeleteCases[EdgeList[g], a_ ⟷ a_]]], _ ⟷ _ → 1]]},
   удалить случ… норма… встре… удалить случ… список рёбер
 {"Число петель", N[1/2 Mean[dist^2] - Mean[dist]/Mean[dist]],
                  численное приближение
  Length[DeleteDuplicates[Cases[EdgeList[g], a_ ⟷ a_]]]},
  длина  удалить дубликаты  случа…  список рёбер
 {"Коэффициент кластеризации", N[1/Length[dist] (Mean[dist^2] - Mean[dist])^2/Mean[dist]^3],
                               численное приближение
  N[GlobalClusteringCoefficient[g]]}}, Dividers → All,
  …  коэффициент глобальной кластеризации  разделители  всё
 Background → {None, {Gray, {White}}}, Spacings → {1, 1}]
 фон  ни од…  серый  белый  размер зазора
```

## Степенное распределение

### $x_{min} = 1, k = 1$

In[7]:=
```
pdm1k1 = Module[{out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 1], 10000]]},
          программный …  окру…  реализация слу…  распределение Парето
  While[OddQ[Total[out]] == True,
  цикл…  неч…  суммировать  истина
   out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 1], 10000]]];
         окру…  реализация слу…  распределение Парето
  out];
```

In[8]:=
```
FC1[pdm1k1, Graph[EdgeListByDegreeDistribution[pdm1k1]]]
            граф
```

Out[8]=

| Характеристики графа | Теория | Модель |
|---|---|---|
| Число мультиребер | $1.37858 \times 10^8$ | 3676 |
| Число петель | 8302.36 | 38 |
| Коэффициент кластеризации | 2109.92 | 0.0214427 |

## $x_{min} = 1, k = 2$

In[9]:=
```
pdm1k2 = Module[{out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 2], 10000]]},
   While[OddQ[Total[out]] == True,
    out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 2], 10000]]];
   out];
```

In[10]:=
```
FC1[pdm1k2, Graph[EdgeListByDegreeDistribution[pdm1k2]]]
```

Out[10]=

| Характеристики графа | Теория | Модель |
|---|---|---|
| Число мультиребер | 5.50394 | 2 |
| Число петель | 1.65891 | 2 |
| Коэффициент кластеризации | 0.000572016 | 0.00114271 |

## $x_{min} = 1, k = 3$

In[11]:=
```
pdm1k3 = Module[{out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 3], 10000]]},
   While[OddQ[Total[out]] == True,
    out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 3], 10000]]];
   out];
```

In[12]:=
```
FC1[pdm1k3, Graph[EdgeListByDegreeDistribution[pdm1k3]]]
```

Out[12]=

| Характеристики графа | Теория | Модель |
|---|---|---|
| Число мультиребер | 0.417978 | 0 |
| Число петель | 0.457153 | 0 |
| Коэффициент кластеризации | 0.0000594986 | 0. |

# 2. Конфигурационная модель сложной сети

In[13]:=
```
Module[{gc = Graph[EdgeListByDegreeDistribution[VertexDegree[g1]]]},
 Grid[{{"Характеристики графа", "Исходный граф", "Конфигурационный граф"},
   {"Глобальный коэффициент кластеризации",
    N[GlobalClusteringCoefficient[g1]], N[GlobalClusteringCoefficient[gc]]},
   {"Средний локальный коэффициент кластеризации",
    N[Mean[LocalClusteringCoefficient[g1]]],
    N[Mean[LocalClusteringCoefficient[gc]]]}, {"Средний кратчайший путь",
    MeanShortestPath[g1], MeanShortestPath[ConnectedGraphComponents[gc][[1]]]}},
  Dividers → All, Background → {None, {Gray, {White}}}, Spacings → {1, 1}]]
```

Out[13]=

| Характеристики графа | Исходный граф | Конфигурационный граф |
|---|---|---|
| Глобальный коэффициент кластеризации | 0.430471 | 0.0276029 |
| Средний локальный коэффициент кластеризации | 0.63583 | 0.0151948 |
| Средний кратчайший путь | 6.50899 | 4.19962 |

# 3. Алгоритм рандомизации

## Функция которая приводит список ребер к виду, где в каждом ребре $v_1 \longmapsto v_2$, $v_1 \leq v_2$

In[14]:=
```
EdgeSort[edgelist_] := Module[{out = edgelist},
  Do[If[edgelist[[i, 1]] > edgelist[[i, 2]], out[[i]] = edgelist[[i, 2]] ⟼ edgelist[[i, 1]]],
   {i, 1, Length[edgelist]}];
  out]
```

## Рандомизация графа которая не создает новых петель и мультиребер

In[15]:=
```
GraphRandomization[g_, n_] :=
 Module[{el = EdgeSort[EdgeList[g]], eltemp = {}, vltemp = {}, temp = {{}, {}}, k = 0},
  Do[temp[[1]] = RandomChoice[el](*Выбираем первое ребро/петлю*);
   eltemp = DeleteCases[el, temp[[1]]](*Создаем временную выборку из ребер/петель
     и удалаем из нее все мультиребра/мультипетли для выбранного ребра/петли*);
   If[temp[[1, 1]] == temp[[1, 2]], (*Алгоритм выбрал петлю*)
```

условный оператор

```
eltemp = DeleteCases[eltemp, v_ ⟼ v_](*удаляем из временной выбрки все петли*);
         удалить случаи по образцу
vltemp = Flatten[{Cases[eltemp, temp[[1, 1]] ⟼ _], Cases[eltemp, _ ⟼ temp[[1, 1]]]}];
         уплостить  случаи по образцу                случаи по образцу
vltemp = DeleteDuplicates[Flatten[{vltemp[[All, 1]], vltemp[[All, 2]]}]]
         удалить дубликаты  уплостить  всё  всё
(*Список вершин с которыми граничит выбранная петля*);
Do[eltemp = DeleteCases[eltemp, vltemp[[j]] ⟼ _];
оператор ци…  удалить случаи по образцу
  eltemp = DeleteCases[eltemp, _ ⟼ vltemp[[j]]], {j, 1, Length[vltemp]}](*Удаляем из
           удалить случаи по образцу                 длина
  временной выборки все ребра/петли, вершины которых связаны с данной петлей*);
If[eltemp == {}, i++;
условный оператор
  Goto[end](*Алгоритм выбрал петлю которую нельзя изменить,
  перейти
  так как до любой вершины из нее можно добраться в два шага. Переходим в
   конец цикла и считаем что на этом шаге ничего не поменялось*), temp[[2]] =
   RandomChoice[eltemp](*Выбираем второе ребро*)], (*Алгоритм выбрал ребро*)
   случайный выбор
vltemp = Flatten[{Cases[eltemp, temp[[1, 1]] ⟼ _], Cases[eltemp, _ ⟼ temp[[1, 1]]],
         уплостить  случаи по образцу                случаи по образцу
    Cases[eltemp, temp[[1, 2]] ⟼ _], Cases[eltemp, _ ⟼ temp[[1, 2]]]}];
    случаи по образцу              случаи по образцу
vltemp = DeleteDuplicates[Flatten[{vltemp[[All, 1]], vltemp[[All, 2]]}]]
         удалить дубликаты  уплостить  всё  всё
(*Список вершин с которыми граничит выбранное ребро*);
Do[eltemp = DeleteCases[eltemp, vltemp[[j]] ⟼ _];
оператор ци…  удалить случаи по образцу
  eltemp = DeleteCases[eltemp, _ ⟼ vltemp[[j]]], {j, 1, Length[vltemp]}](*Удаляем из
           удалить случаи по образцу                 длина
  временной выборки все ребра/петли, вершины которых связаны с данным ребром*);
If[eltemp == {}, i++;
условный оператор
  Goto[end](*Алгоритм выбрал ребро которое нельзя изменить,
  перейти
  так как до любой вершины из него можно добраться в два шага. Переходим
   в конец цикла и считаем что на этом шаге ничего не поменялось*),
  temp[[2]] = RandomChoice[eltemp](*Выбираем второе ребро/петлю*)]];
              случайный выбор
k = 1;
While[(el[[k]] === temp[[1]]) == False, k++];
цикл–пока  ложь
el = Delete[el, k];
     удалить элемент
k = 1;
While[(el[[k]] === temp[[2]]) == False, k++];
цикл–пока  ложь
el = Delete[el, k](*Удаляем из списка ребер выбранные*);
     удалить элемент
If[RandomInteger[{1, 2}] == 1(*Случайно выбираем как переключить ребра и добавляем
…  случайное целое число
  новые к списку ребер*), AppendTo[el, EdgeSort[{temp[[1, 1]] ⟼ temp[[2, 1]]}][[1]]];
                          добавить в конец к
```

```
    AppendTo[el, EdgeSort[{temp[[1, 2]] ⟷ temp[[2, 2]]}][[1]]],
    AppendTo[el, EdgeSort[{temp[[1, 1]] ⟷ temp[[2, 2]]}][[1]]];
    AppendTo[el, EdgeSort[{temp[[1, 2]] ⟷ temp[[2, 1]]}][[1]]]];
   Label[end], {i, 1, n}];
  Graph[el]]
```

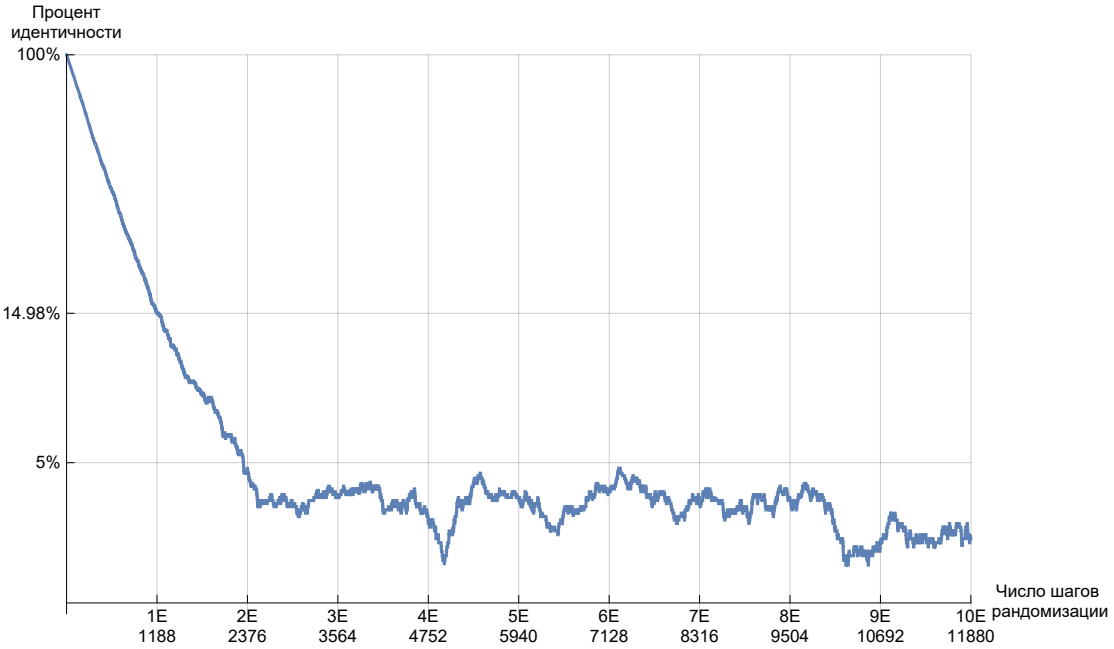
## Функция которая показывает сколько ребер из изначального графа сохранилось при рандомизации в зависимости от числа шагов

In[16]:=
```
GraphRandomizationEvolution[graph_, steps_] :=
 Module[{temp = graph, el = EdgeSort[EdgeList[graph]],
   ec = EdgeCount[graph], out = ConstantArray[{}, steps + 1]}, out[[1]] = 1;
  Do[temp = GraphRandomization[temp, 1];
   out[[l]] = N[Length[EdgeSort[EdgeList[temp]] ⋂ el]/ec], {l, 2, steps + 1}];
  out = {Range[0, steps], out}^T;
  out]
```

In[17]:=
```
data1r = Import[NotebookDirectory[] <> "\\sim1r.m"];
(*data1r=GraphRandomizationEvolution[g1,EdgeCount[g1]10];*)
```

In[18]:=
```
ListLogPlot[data1r, Joined → True, PlotRange → {{0, 10 EdgeCount[g1] + 10}, {0, 1}},
 Ticks → {Table[{i EdgeCount[g1], ToString[i] <> "E\n" <> ToString[i EdgeCount[g1]]},
   {i, 1, 10}], {{0.05, "5%"}, {data1r[[EdgeCount[g1] + 1, 2]],
    ToString[NumberForm[100 data1r[[EdgeCount[g1] + 1, 2]], 4]] <> "%"}, {1, "100%"}}},
 GridLines → {Table[i EdgeCount[g1], {i, 1, 10}],
   {0.05, data1r[[EdgeCount[g1] + 1, 2]], 1}},
 AxesLabel → {"Число шагов\n рандомизации", "Процент\nидентичности"},
 ImageSize → Large]
```

Out[18]=




# 4. Рандомизация сложной сети

## Ансамбль из 100 рандомизированных графов. Число шагов - 10E

In[19]:=
```
g1a = Import[NotebookDirectory[] <> "\\sim1a.m"];
(*g1a=Table[GraphRandomization[g1,10EdgeCount[g1]],{l,1,100}];*)
```

In[20]:=
```
Grid[{{"Характеристики графа", "Исходный граф", "Среднее по ансамблю"},
  {"Глобальный коэффициент кластеризации", N[GlobalClusteringCoefficient[g1]],
   N[Mean[Table[GlobalClusteringCoefficient[g1a[[i]]], {i, 1, 100}]]]},
  {"Средний локальный коэффициент кластеризации",
   N[Mean[LocalClusteringCoefficient[g1]]],
   N[Mean[Table[Mean[LocalClusteringCoefficient[g1a[[i]]]], {i, 1, 100}]]]},
  {"Средний кратчайший путь", MeanShortestPath[g1],
   Mean[Table[MeanShortestPath[ConnectedGraphComponents[g1a[[i]]][[1]]], {i, 1, 100}]]}},
 Dividers → All, Background → {None, {Gray, {White}}}, Spacings → {1, 1}]
```

Out[20]=

| Характеристики графа | Исходный граф | Среднее по ансамблю |
|---|---|---|
| Глобальный коэффициент кластеризации | 0.430471 | 0.0250338 |
| Средний локальный коэффициент кластеризации | 0.63583 | 0.0238955 |
| Средний кратчайший путь | 6.50899 | 3.90221 |

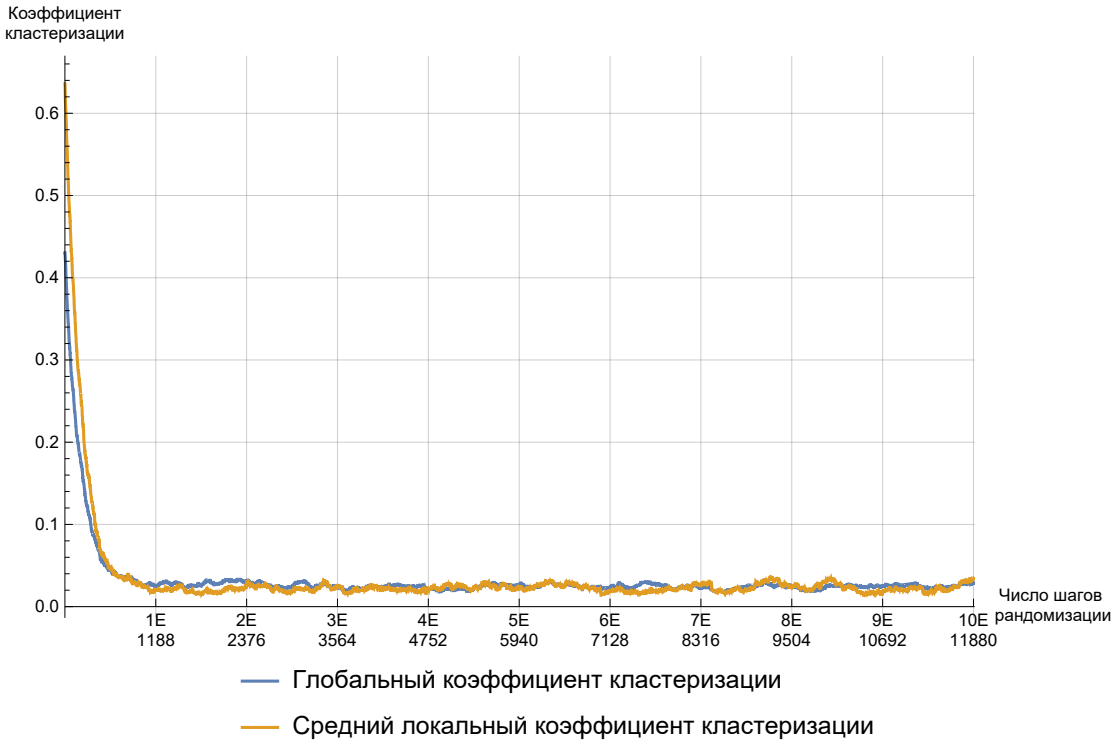
## Функция которая показывает изменения характеристик графа при рандомизации в зависимости от числа шагов

In[21]:=
```
GraphRandomizationCharacteristicsEvolution[graph_, steps_] :=
 Module[{temp = graph, gcc = ConstantArray[{}, steps + 1],
   mlcc = ConstantArray[{}, steps + 1], msp = ConstantArray[{}, steps + 1], out = {}},
  gcc[[1]] = N[GlobalClusteringCoefficient[graph]];
  mlcc[[1]] = N[Mean[LocalClusteringCoefficient[graph]]];
  msp[[1]] = MeanShortestPath[ConnectedGraphComponents[graph][[1]]];
  Do[temp = GraphRandomization[temp, 1];
   gcc[[l]] = N[GlobalClusteringCoefficient[temp]];
   mlcc[[l]] = N[Mean[LocalClusteringCoefficient[temp]]];
   msp[[l]] = MeanShortestPath[ConnectedGraphComponents[temp][[1]]], {l, 2, steps + 1}];
  out = {{Range[0, steps], gcc}^T, {Range[0, steps], mlcc}^T, {Range[0, steps], msp}^T};
  out]
```

In[22]:=
```
data1cp = Import[NotebookDirectory[] <> "\\sim1cp.m"];
(*data1cp=GraphRandomizationCharacteristicsEvolution[g1,EdgeCount[g1]10];*)
```

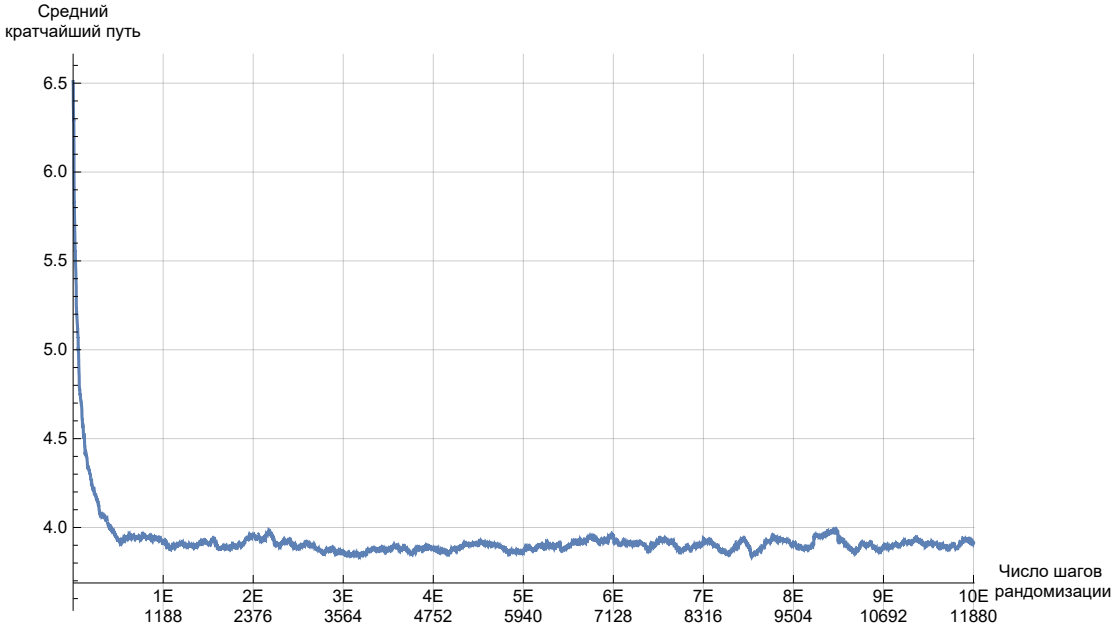
In[23]:=
```
ListLinePlot[data1cp[[1 ;; 2]], PlotRange → {{0, 10 EdgeCount[g1] + 15}, All},
 Ticks → {Table[{i EdgeCount[g1], ToString[i] <> "E\n" <> ToString[i EdgeCount[g1]]},
   {i, 1, 10}], Automatic}, GridLines → {Table[i EdgeCount[g1], {i, 1, 10}], Automatic},
 AxesLabel → {"Число шагов\n рандомизации", "Коэффициент\nкластеризации"},
 PlotLegends → Placed[{"Глобальный коэффициент кластеризации",
   "Средний локальный коэффициент кластеризации"}, Below], ImageSize → Large]
```

Out[23]=



In[24]:=
```
ListLinePlot[data1cp[[3]], PlotRange → {{0, 10 EdgeCount[g1] + 15}, All},
 Ticks → {Table[{i EdgeCount[g1], ToString[i] <> "E\n" <> ToString[i EdgeCount[g1]]},
   {i, 1, 10}], Automatic}, GridLines → {Table[i EdgeCount[g1], {i, 1, 10}], Automatic},
 AxesLabel → {"Число шагов\n рандомизации", "Средний\nкратчайший путь"},
 ImageSize → Large]
```

Out[24]=




# 5. Генератор сетей со степенным распределением

## Алгоритм Гавела-Хакими

Алгоритм даёт ответ на вопрос: является ли данная последовательность степеней вершин графической. По графической последовательности возможно построить простой граф.

In[25]:=
```
HavelHakimiAlgorithm[arr_] :=
 Module[{data = ReverseSort[arr]}, If[Evaluate[data ∈ Integers] == True &&
   data[[-1]] ≥ 0 && data[[1]] < Length[data] && EvenQ[Total[data]] == True,
  While[data[[1]] > 0 && data[[-1]] ≥ 0, data[[2 ;; data[[1]] + 1]] -= 1;
   data = ReverseSort[Delete[data, 1]]];
  If[data[[-1]] == 0, True, False], False]]
```

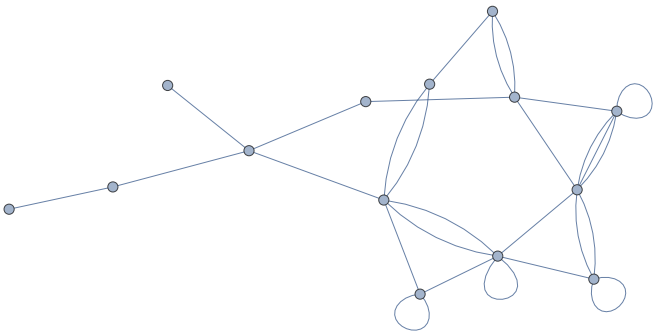
## Генерирует граф в виде списка ребер по заданным степеням вершин используя алгоритм Гавела-Хакими

In[26]:=
```
HavelHakimiMethod[dist_] :=
 Module[{in = dist, vl = Range[Length[dist]], out = ConstantArray[{}, Total[dist]/2]},
  temp = {}, temptemp = {}, vltemp = {}, intemp = {}, k = 0},
 While[Evaluate[Total[in]] ≠ 0, temp = RandomChoice[in → vl];
  temptemp = in[[temp]];
  in[[temp]] = 0;
  intemp = in;
  vltemp = RandomSample[intemp → vl, temptemp];
  Do[intemp[[vltemp[[j]]]] -= 1, {j, 1, Length[vltemp]}];
  While[Evaluate[HavelHakimiAlgorithm[intemp]] == False, intemp = in;
   vltemp = RandomSample[intemp → vl, temptemp];
   Do[intemp[[vltemp[[j]]]] -= 1, {j, 1, Length[vltemp]}]];
  in = intemp;
  Do[k++;
   out[[k]] = temp ⟷ vltemp[[j]], {j, 1, Length[vltemp]}]];
 out]
```

## Пример на графе с мультиребрами и петлями

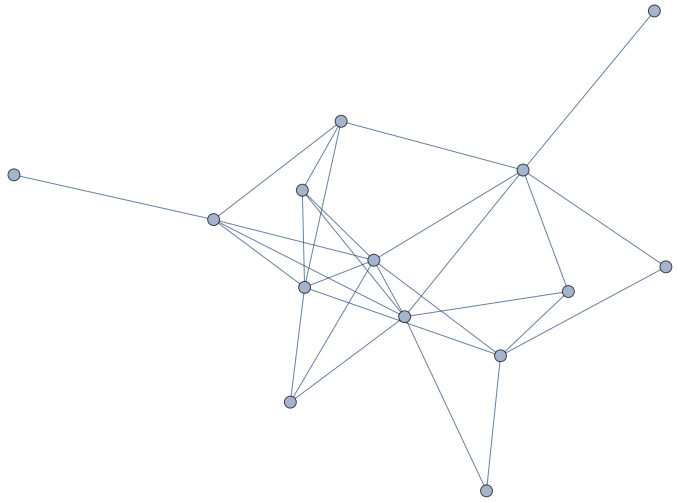
In[27]:=
```
g2 = Graph[{1 ⟷ 7, 2 ⟷ 3, 3 ⟷ 7, 4 ⟷ 7, 4 ⟷ 9, 5 ⟷ 6, 5 ⟷ 9, 5 ⟷ 9, 6 ⟷ 12, 6 ⟷ 12, 7 ⟷ 12,
  8 ⟷ 8, 8 ⟷ 12, 8 ⟷ 13, 9 ⟷ 11, 9 ⟷ 14, 10 ⟷ 10, 10 ⟷ 13, 10 ⟷ 14, 10 ⟷ 14,
  11 ⟷ 11, 11 ⟷ 14, 11 ⟷ 14, 11 ⟷ 14, 12 ⟷ 13, 12 ⟷ 13, 13 ⟷ 13, 13 ⟷ 14}]
```

Out[27]=



In[28]:=
```
g2r = Graph[HavelHakimiMethod[VertexDegree[g2]]]
      граф                    степень вершины
```

Out[28]=

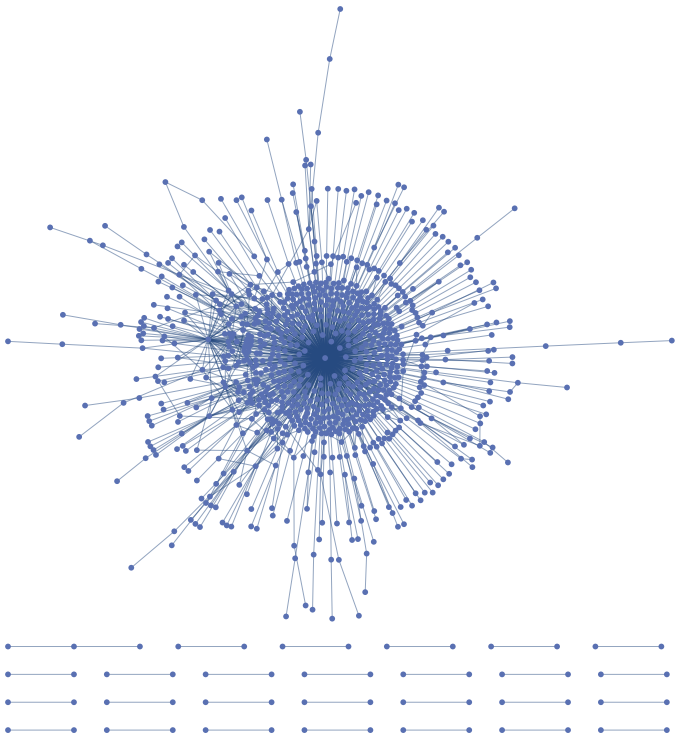


## Генерация выборки по стпенному распределению по которой возможно построить простой граф

In[29]:=
```
sgs = Module[{out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 2], 1000]]},
      программный … окру… реализация слу… распределение Парето
  While[OddQ[Total[out]] == True || HavelHakimiAlgorithm[out] == False,
  цикл… неч… суммировать  истина                          ложь
   out = Round[RandomVariate[ParetoDistribution[1, 2], 1000]]];
         окру… реализация слу… распределение Парето
  out];
```

In[30]:=
```
g3 = Graph[HavelHakimiMethod[sgs]]
```
граф

Out[30]=



## Проверка простоты графа

In[31]:=
```
SimpleGraphQ[g3]
```
простой граф?

Out[31]=
```
True
```