
STANDARD CODE LIBRARY
OF
EATING KEYBOARD

EDITED BY

SDDYZJH

DRAGOONKILLER

ALISA

Huazhong University of Science and Technology

目录

计算几何	1
平面几何通用	1
立体几何通用	2
判断点在凸多边形内	3
凸包	4
动态点凸包	4
旋转卡壳	6
求圆交点	6
最小覆盖圆	6
数据结构	7
KD 树	7
Splay	9
表达式解析	12
并查	14
可持久化并查集	15
可持久化线段树	16
轻重边剖分	17
手写 bitset	18
树状数组	20
线段树	20
左偏树	22
图论	24
k 短路可持久化堆	24
spfa 费用流	26
Tarjan 有向图强连通分量	27
割点割边及双联通分量	28
zkw 费用流	31
倍增 LCA	32
虚树	32
点分治	32
堆优化 dijkstra	33
矩阵树定理	33
平面欧几里得距离最小生成树	36
最大流 Dinic	39
KM(bfs)	41
最大团	41
最小度限制生成树	43
最优比率生成树	45
欧拉路径覆盖	45
数学	47
常见积性函数	47
常用公式	47
狄利克雷卷积	47
莫比乌斯反演	47

常用等式	48
Pell 方程	48
SG 函数	48
矩阵乘法快速幂	49
线性规划	49
线性基	50
线性筛	50
线性求逆元	51
FFT	51
NTT+CRT	52
FWT	53
类欧和 Farey 序列	54
常系数线性齐次递推	56
中国剩余定理	58
字符串	58
AC 自动机	58
子串 Hash	60
Manacher	60
Trie 树	61
后缀数组-DC3	62
后缀数组-倍增法	62
后缀自动机	63
回文自动机	64
KMP	65
扩展 KMP	65
动态规划	66
插头 DP	66
概率 DP	67
数位 DP	67
四边形 DP	68
完全背包	68
斜率 DP	69
状压 DP	69
最长上升子序列	70
杂项	70
测速	70
日期公式	70
读入挂	71
随机数	71
高精度	72
康托展开与逆展开	77
快速乘	77
模拟退火	78
魔法求递推式	78
常用概念	79
欧拉路径	79

映射	79
反演	80
弦图	80
五边形数	80
pick 定理	80
重心	80
曼哈顿距离与切比雪夫距离	80
第二类 Bernoulli number	80
Fibonacci 数	80
Catalan 数	80
Lucas 定理	81
扩展 Lucas 定理	81
BEST theorem	81
欧拉示性数定理	81
最值反演 (MinMax 容斥)	81
Polya 定理	81
Stirling 数	81
常用排列组合公式	81
三角公式	82
积分表	82

计算几何

平面几何通用

```
1  /// 计算几何专用。按需选用。
2
3  db eps = 1e-12; /// 线性误差范围; Long double : 1e-16;
4  db eps2 = 1e-6; /// 平方级误差范围; Long double: 1e-8;
5  bool eq(db a, db b) { return abs(a-b) < eps; }
6
7  /// ===== 点和向量 =====
8  struct pt
9  {
10     db x, y;
11     pt operator+(pt const& b) const { return {x + b.x, y + b.y}; }
12     pt operator-(pt const& b) const { return {x - b.x, y - b.y}; }
13     pt operator()(pt const& b) const { return b - *this; } /// 从本顶点出发, 指向另一个点的向量。
14
15     db len2() const { return x*x+y*y; } /// 模的平方。
16     db len() const { return sqrt(len2()); } /// 向量的模。
17     pt norm() const { db l = len(); return pt(x/l, y/l); } /// 标准化。
18
19     /// 把向量旋转 f 个弧度。
20     pt rot(double const& f) const
21     { return pt(x*cos(f) - y*sin(f), x*sin(f) + y*cos(f)); }
22
23     /// 极角, +x 轴为 0, 弧度制, (-π, π]。
24     db a() const { return atan2(y, x); }
25
26     void out() const { printf("%.2f, %.2f", (double)x, (double)y); } /// 输出。
27 };
28
29 /// 数乘。
30 pt operator*(pt const& a, db const& b) { return {a.x * b, a.y * b}; }
31 pt operator*(db const& b, pt const& a) { return {a.x * b, a.y * b}; }
32
33 /// 叉积。
34 db operator*(pt const& a, pt const& b) { return a.x * b.y - a.y * b.x; }
35 /// 点积。
36 db operator&(pt const& a, pt const& b) { return a.x * b.x + a.y * b.y; }
37
38 bool operator==(pt const& a, pt const& b) { return eq(a.x, b.x) && eq(a.y, b.y); }
39
40 /// ===== 线段 =====
41 struct seg
42 {
43     pt from, to;
44     seg(pt const& a = pt(), pt const& b = pt()) : from(a), to(b) { }
45
46     pt dir() const { return to - from; } /// 方向向量, 未标准化。
47
48     db len() const { return dir().len(); } /// 长度。
49
50     /// 点在线段上。
51     bool overlap(pt const& v) const
52     { return eq(from.to().len(), v(from).len() + v(to).len()); }
53
54     pt projection(pt const& p) const /// 点到直线上的投影。
55     {
56         db h = abs(dir() * from(p)) / len();
57         db r = sqrt(from(p).len2() - h*h);
58         if(eq(r, 0)) return from;
59         if((from(to) & from(p)) < 0) return from + from(to).norm() * (-r);
60         else return from + from(to).norm() * r;
61     }
62
63     pt nearest(pt const& p) const /// 点到线段的最近点。
64     {
65         pt g = projection(p);
66         if(overlap(g)) return g;
67         if(g(from).len() < g(to).len()) return from;
68         return to;
69     }
70 };
71
72 bool operator/(seg const& a, seg const& b) /// 平行 (零向量平行于任意向量)。
```

```

73 {
74     return eq(a.dir() * b.dir(), 0);
75 }
76
77 // 相交。不计线段端点则删掉 eq(..., 0) 的所有判断。
78 bool operator*(seg const& A, seg const& B)
79 {
80     pt dia = A.from(A.to);
81     pt dib = B.from(B.to);
82     db a = dia * A.from(B.from);
83     db b = dia * A.from(B.to);
84     db c = dib * B.from(A.from);
85     db d = dib * B.from(A.to);
86     return ((a < 0 && b > 0) || (a > 0 && b < 0) || A.overlap(B.from) || A.overlap(B.to)) &&
87         ((c < 0 && d > 0) || (c > 0 && d < 0) || B.overlap(A.from) || B.overlap(A.to));
88 }
89
90 // 直线相交。假设其不平行。
91 pt Intersection(seg const& a, seg const& b)
92 {
93     // if(eq(a.dir() * b.dir(), 0)) throw exception("No Intersection");
94     db ax = (a.from(b.from) * b.dir()) / (a.dir() * b.dir());
95     return a.from + ax * a.to;
96 }

```

立体几何通用

```

1  db eps = 1e-12; // 线性误差范围; Long double : 1e-16;
2  db eps2 = 1e-6; // 平方级误差范围; Long double: 1e-8;
3  bool eq(db a, db b) { return abs(a-b) < eps; }
4
5  // ===== 点和向量 =====
6  struct pt;
7  struct pt
8  {
9      db x, y, z;
10     pt operator+(pt const& b) const { return {x + b.x, y + b.y, z + b.z}; }
11     pt operator-(pt const& b) const { return {x - b.x, y - b.y, z - b.z}; }
12     pt operator()(pt const& b) const { return b - *this; } // 从本顶点出发, 指向另一个点的向量。
13
14     db len2() const { return x*x+y*y+z*z; } // 模的平方。
15     db len() const { return sqrt(len2()); } // 向量的模。
16     pt norm() const { db l = len(); return pt(x/l, y/l, z/l); } // 标准化。
17
18     void out(const char* c) const { printf("(%.2f, %.2f, %.2f)%s", x, y, z, c); } // 输出。
19 };
20
21 // 数乘。
22 pt operator*(pt const& a, db const& b) { return pt(a.x * b, a.y * b, a.z * b); }
23 pt operator*(db const& b, pt const& a) { return pt(a.x * b, a.y * b, a.z * b); }
24
25 // 叉积。
26 pt operator*(pt const& a, pt const& b)
27 { return pt(a.y*b.z - a.z*b.y, a.z*b.x - a.x*b.z, a.x*b.y - a.y*b.x); }
28
29 // 点积。
30 db operator*(pt const& a, pt const& b)
31 { return a.x * b.x + a.y * b.y + a.z * b.z; }
32
33 // 点 T 到直线 AB 的投影点。
34 pt projection(pt const& A, pt const& B, pt const& T)
35 { return A + (A(B).norm() & A(T)) * A(B).norm(); }
36
37 // 直线 A + Lm * S 和 B + mu * T 的距离。
38 db dist(pt const& A, pt const& S, pt const& B, pt const& T)
39 {
40     if((S * T).len() < eps) { return (A(B) * S).len() / S.len(); }
41     return abs(A(B) & (S * T).norm());
42 }
43
44 // 直线 A + Lm * S 和 B + mu * T 上的最近点对。
45 // first 在 A + Lm * S 上, second 在 B + mu * T 上。
46 pair<pt,pt> closest(pt const& A, pt const& S, pt const& B, pt const& T)
47 {
48     if((S * T).len() < eps) { return {A, projection(B, T, A)}; }

```

```

49     pt X = (S * T).norm();
50     pt Z = S.norm();
51     pt Y = Z * X;
52     pt b = { A(B) & X, A(B) & Y, A(B) & Z };
53     pt t = { 0, T & Y, T & Z };
54     db mu = - b.y / t.y;
55     db lm = (b.z + mu * t.z) / S.len();
56     return { A + lm * S, B + mu * T };
57 }
58
59 // 点 T 在直线 AB 上.
60 bool contains(pt const& A, pt const& B, pt const& T)
61 { return (A(B).norm() * T).len() < eps; }
62
63 // 点 T 在线段 AB 上.
64 bool overlap(pt const& A, pt const& B, pt const& T)
65 { return (A(B) & A(T)) > -eps && (B(A) & B(T)) > -eps && (A(B).norm() * T).len() < eps; }
66
67 // 点 T 到线段 AB 的最近点.
68 pt nearest(pt const& A, pt const& B, pt const& T)
69 {
70     pt G = projection(T);
71     if(overlap(A, B, G)) return G;
72     if(G(A).len() < G(B).len()) return A;
73     return B;
74 }

```

判断点在凸多边形内

```

1  /// 在线, 单次询问  $O(\log n)$ , st 为凸包点数, 包括多边形上顶点和边界.
2  /// 要求凸包上没有相同点, 仅包含顶点.
3
4  bool agcmp(point const& a, point const& b) { return sp(a) * sp(b) < 0; }
5  bool PointInside(point target)
6  {
7      sp = stk[0];
8      point vt = sp(stk[1]);
9      point vb = sp(stk[st-2]);
10     db mt = vt * sp(target);
11     db mb = vb * sp(target);
12     bool able = (eq(mt, 0) && eq(mb, 0)) ||
13         (eq(mt, 0) && mb > 0) || (eq(mb, 0) && mt < 0) ||
14         (mt < 0 && mb > 0);
15     if(able)
16     {
17         int xp = (int)(lower_bound(stk+1, stk+st-2, target, agcmp) - stk);
18         able &= !(segment(sp, target) * segment(stk[xp], stk[xp-1]));
19         able |= segment(stk[xp], stk[xp-1]).overlap(target);
20     }
21     return able;
22 }
23
24 /// 在线, 单次询问  $O(\log n)$ , st 为凸包点数, ** 不 ** 包括多边形上顶点和边界.
25
26 bool agcmp(point const& a, point const& b) { return sp(a) * sp(b) < 0; }
27 bool PointInside(point target)
28 {
29     sp = stk[0];
30     point vt = sp(stk[1]);
31     point vb = sp(stk[st-2]);
32     db mt = vt * sp(target);
33     db mb = vb * sp(target);
34     bool able = mt < 0 && mb > 0;
35     if(able)
36     {
37         int xp = (int)(lower_bound(stk+1, stk+st-2, target, agcmp) - stk);
38         able &= !(segment(sp, target) * segment(stk[xp], stk[xp-1]));
39     }
40     return able;
41 }

```

凸包

```

1  /// 凸包
2  /// 去除输入中重复顶点，保留头尾重复，顺时针顺序。
3
4  /// a: 输入点。
5  /// stk: 用来存凸包上的点的栈。
6  /// st: 栈顶下标，指向最后一个元素的下一个位置。
7  /// stk[0]: 凸包上 y 值最小的点中，x 值最小的点。
8
9  //////////////////////////////////////
10
11 int n;
12 point a[105000];
13 point stk[105000]; int st;
14
15 bool operator<(point const& a, point const& b) { return eq(a.y, b.y) ? a.x < b.x : a.y < b.y; }
16 // 使用 >= eps 则取凸包上的点。
17 // 使用 >= -eps 不取凸包上的点。
18 void Graham()
19 {
20     sort(a,a+n);
21     int g = (int)(unique(a, a+n) - a);
22     st=0;
23
24     rep(i, 0, g-1)
25     {
26         while(st>1 && stk[st-2](stk[st-1]) * stk[st-1](a[i]) >= eps) st--;
27         stk[st++]=a[i];
28     }
29     int p=st;
30     repr(i, 0, g-2)
31     {
32         while(st>p && stk[st-2](stk[st-1]) * stk[st-1](a[i]) >= eps) st--;
33         stk[st++]=a[i];
34     }
35 }
36
37 /// [.] AC HDU 1392

```

动态点凸包

```

1  /// 凸包
2  /// 支持动态插点，查询点是否在多边形内。
3
4  /// AC CF 70D.
5
6  /// a: 输入点。
7  /// stk: 用来存凸包上的点的栈。
8  /// st: 栈顶下标，指向最后一个元素的下一个位置。
9  /// stk[0]: 凸包上 y 值最小的点中，x 值最小的点。
10
11 //////////////////////////////////////
12
13 /// 需要数乘。
14 pt operator*(db const& v, pt const& p) { return pt{v * p.x, v * p.y}; }
15
16 bool operator<(pt const& a, pt const& b)
17 {
18     return eq(a.a(), b.a()) ? a.len2() < b.len2() : a.a() < b.a();
19 }
20
21 struct ConvexHull // 极角序凸包。
22 {
23     typedef set<pt>::iterator iter;
24
25     set<pt> hull; // 逆时针排列的壳。坐标相对于中央点。
26     pt c = pt{0, 0}; // 中央点。
27
28     bool degen = true; // 是否是退化多边形。不影响算法，可以删掉。
29
30     iter pre(iter x) { if(x == hull.begin()) x = hull.end(); x--; return x; }
31     iter nxt(iter x) { x++; if(x == hull.end()) x = hull.begin(); return x; }
32     iter LowerBound(pt const& v)
33     {

```



```

34     iter t = hull.lower_bound(v);
35     return t == hull.end() ? hull.begin() : t;
36 }
37
38 // 返回元素是否被插入.
39 bool Add(pt v)
40 {
41     if(hull.size() < 2) return hull.insert(v).second;
42     if(hull.size() == 2)
43     {
44         auto x = hull.begin();
45         pt a = *x, b = *(++x);
46
47         if(eq(v(a) * v(b), 0))
48         {
49             if(eq(v(a).len() + v(b).len(), a(b).len()))
50                 return false;
51
52             if(eq(a(v).len() + a(b).len(), v(b).len()))
53                 hull.erase(hull.begin());
54             else if(eq(b(v).len() + b(a).len(), a(v).len()))
55                 hull.erase(x);
56
57             return hull.insert(v).second;
58         }
59
60         hull.clear();
61         c = 1 / 3.0 * (a + b + v);
62         hull.insert(a - c);
63         hull.insert(b - c);
64         hull.insert(v - c);
65         degenerate = false;
66         return true;
67     }
68
69     if(eq(v.x, c.x) && eq(v.y, c.y)) return false;
70
71     v = c(v);
72     iter r = LowerBound(v);
73     iter l = pre(r);
74
75     if((*l)(v) * (v)(*r) <= -eps) return false;
76
77     while(hull.size() > 2 && (*pre(l))(*l) * (*l)(v) <= eps)
78     {
79         l = hull.erase(l);
80         l = pre(l);
81     }
82
83     while(hull.size() > 2 && v(*r) * (*r)(*nxt(r)) <= eps)
84     {
85         r = hull.erase(r);
86         if(r == hull.end()) r = hull.begin();
87     }
88
89     return hull.insert(v).second;
90 }
91
92 bool Contains(pt v)
93 {
94     if(hull.size() == 0) return false;
95     if(hull.size() == 1) return eq(hull.begin()->x, v.x) && eq(hull.begin()->y, v.y);
96     if(hull.size() == 2)
97     {
98         pt a = *hull.begin();
99         pt b = *std::next(hull.begin());
100         return eq(v(a).len() + v(b).len(), a(b).len());
101     }
102
103     v = c(v);
104     iter a = LowerBound(v);
105     pt r = *a;
106     pt l = *pre(a);
107     return l(v) * v(r) < eps;
108 }
109
110 void Out() const

```

```
{
    for(auto i : hull) printf("%.4f %.4f\n", i.x + c.x, i.y + c.y);
    printf("\n");
}
```

旋转卡壳

```

// 旋转卡壳求 ** 最远点对 ** 距离.
// st: 凸包长度.
// stk[]: 按顺序存储的凸壳上的点的数组.
////////////////////////////////////
int GetmaxDistance()
{
    int res=0;
    int p=2;
    rep(i, 1, st-1)
    {
        while( p!=st && area(stk[i-1], stk[i], stk[p+1]) > area(stk[i-1], stk[i], stk[p]))
            p++;
        // 此时 stk[i] 的对踵点是 stk[p].
        if(p==st) break;
        // 修改至想要的部分.
        res=max(res,stk[i-1](stk[p]).dist2());
        res=max(res,stk[i](stk[p]).dist2());
    }
    return res;
}

```

求圆交点

```

typedef long double db;
const db eps=1e-12;
struct pt
{
    db x,y;
    pt operator+(pt const& t) const { return pt{ x + t.x, y + t.y }; }
    pt operator-(pt const& t) const { return pt{ x - t.x, y - t.y }; }
    pt operator*(db const& t) const { return pt{ x * t, y * t }; }
    pt operator/(db const& t) const { return pt{ x / t, y / t }; }
    bool operator<(pt const& t) const { return eq(x, t.x) ? y < t.y : x < t.x; }
    bool operator==(pt const& t) const { return eq(x, t.x) && eq(y, t.y); }
    db len() const { return sqrt(x * x + y * y); }
    pt rot90() const { return {-y, x}; }
};

struct Circle
{
    pt o;
    db r;
    friend vector<pt> operator&(Circle const& c1,Circle const& c2)
    {
        db d=(c1.o-c2.o).len();
        if(d>c1.r+c2.r+eps || d<abs(c1.r-c2.r)-eps) return vector<pt>();
        db dt=(c1.r*c1.r-c2.r*c2.r)/d,d1=(d+dt)/2;
        pt dir=(c2.o-c1.o)/d,pcrs=c1.o+dir*d1;
        dt=sqrt(max(0.0L,c1.r*c1.r-d1*d1)),dir=dir.rot90();
        return vector<pt>{pcrs+dir*dt,pcrs-dir*dt};
    }
};

```

最小覆盖圆

```
10 /// 过三点的圆的圆心.
11 point CC(point const& a,point const& b,point const& c)
12 {
13     point ret;
14     db a1 = b.x-a.x, b1 = b.y-a.y, c1 = (a1*a1+b1*b1)*0.5;
15     db a2 = c.x-a.x, b2 = c.y-a.y, c2 = (a2*a2+b2*b2)*0.5;
16     db d = a1*b2 - a2*b1;
17     if(eq(d, 0)) return (b+c)*0.5;
18     ret.x=a.x+(c1*b2-c2*b1)/d;
19     ret.y=a.y+(a1*c2-a2*c1)/d;
20     return ret;
21 }
22
23 int n;
24 point a[1005000];
25
26 struct Result { db x,y,r; };
27 Result MCC()
28 {
29     if(n==0) return {0, 0, 0};
30     if(n==1) return {a[0].x, a[0].y, 0};
31     if(n==2) return {(a[0]+a[1]).x*0.5, (a[0]+a[1]).y*0.5, dist(a[0],a[1])*0.5};
32
33     for(int i=0;i<n;i++) swap(a[i], a[rand()%n]); // 随机交换.
34
35     point O; db R = 0.0;
36     rep(i, 2, n-1) if(0(a[i]).len() >= R+eps)
37     {
38         O=a[i];
39         R=0.0;
40
41         rep(j, 0, i-1) if(0(a[j]).len() >= R+eps)
42         {
43             O=(a[i] + a[j]) * 0.5;
44             R=a[i](a[j]).len() * 0.5;
45
46             rep(k, 0, j-1) if(0(a[k]).len() >= R+eps)
47             {
48                 O = CC(a[i], a[j], a[k]);
49                 R = O(a[i]).len();
50             }
51         }
52     }
53
54     return {O.x, O.y, R};
55 }
```

数据结构

KD 树

```
1 /// KD 树.
2 /// 最近邻点查询.
3 /// 维度越少剪枝优化效率越高. 4 维时是 1/10 倍运行时间, 8 维时是 1/3 倍运行时间.
4 /// 板子使用欧几里得距离.
5 /// 可以把距离修改成曼哈顿距离之类的, ** 剪枝一般不会出错 **.
6
7 ///////////////////////////////////////////////////
8
9 const int mxnc = 105000; // 最大的所有树节点数总量.
10 const int dem = 4; // 维度数量.
11
12 const db INF = 1e20;
13
14 /// 空间中的点.
15 struct point
16 {
17     db v[dem]; // 维度坐标.
18     // 注意你有可能用到每个维度坐标是不同的 * 类型 * 的点.
19     // 此时需要写两个点对于第 k 个维度坐标的比较函数.
20     point() { }
21     point(db* coord) { memcpy(v, coord, sizeof(v)); }
22     point(point const& x) { memcpy(v, x.v, sizeof(v)); }
23 }
```

```
24     point& operator=(point const& x)
25     { memcpy(v, x.v, sizeof(v)); return *this; }
26
27     db& operator[](int const& k) { return v[k]; }
28     db const& operator[](int const& k) const { return v[k]; }
29 };
30
31 db dist(point const& x, point const& y)
32 {
33     db a = 0.0;
34     for(int i=0; i<dem; i++) a += (x[i] - y[i]) * (x[i] - y[i]);
35     return sqrt(a);
36 }
37
38 /// 树中的节点.
39 struct node
40 {
41     point loc; // 节点坐标点.
42     int d;      // 该节点的下层节点从哪个维度切割. 切割坐标值由该节点坐标值给出.
43     node* s[2]; // 左右子节点.
44
45     int sep(point const& x) const { return x[d] >= loc[d]; }
46 };
47 node pool[mxnc]; node* curn = pool;
48
49 /// 这个数组用来分配唯切割顺序. 可以改用别的维度选择方式.
50 int flc[] = {3, 0, 2, 1};
51 node* newNode(point const& p, int dep)
52 {
53     curn->loc = p;
54     curn->d = flc[dep % dem];
55     curn->s[0] = curn->s[1] = NULL;
56     return curn++;
57 }
58
59 /// KD 树.
60 struct KDTree
61 {
62     node* root;
63
64     KDTree() { root = NULL; }
65
66     node* insert(point const& x)
67     {
68         node* cf = NULL;
69         node* cur = root;
70         int dep = 0;
71         while(cur != NULL)
72         {
73             dep++;
74             cf = cur;
75             cur = cur->s[cur->sep(x)];
76         }
77         if(cf == NULL) return root = newNode(x, dep);
78         return cf->s[cf->sep(x)] = newNode(x, dep);
79     }
80
81     /// 求最近点的距离, 以及最近点.
82     pair<db, point*> nearest(point const& p, node* x)
83     {
84         if(x == NULL) return make_pair(INF, (point*)NULL);
85
86         int k = x->sep(p);
87
88         /// 拿到点 p 从属于区域的结果.
89         pair<db, point*> sol = nearest(p, x->s[k]);
90
91         /// 用当前区域存储的点更新答案.
92         db cd = dist(x->loc, p);
93         if(sol.first > cd)
94         {
95             sol.first = cd;
96             sol.second = &(x->loc);
97         }
98
99         /// 如果当前结果半径和另一个子区域相交, 询问子区域并更新答案.
100         db divDist = abs(p[x->d] - x->loc[x->d]);
```

```

101         if(sol.first >= divDist)
102         {
103             pair<db, point*> solx = nearest(p, x->s[!k]);
104             if(sol.first > solx.first) sol = solx;
105         }
106
107         return sol;
108     }
109
110     db nearestDist(point const& p) { return nearest(p, root).first; }
111 };
112
113 /// 初始化节点列表, 会清除 ** 所有树 ** 的信息.
114 void Init()
115 {
116     curn = pool;
117 }

```

Splay

```

1  /// Splay.
2  /// 没有特殊功能的平衡树. 预留了一个自底向上更新的 update 函数.
3  /// pool: 点的池子. Splay 数据结构本身只保存根节点指针.
4  /// 重新初始化: nt = pool + 1; 不要更改 nil.
5
6  /// mxn: 节点池子大小.
7  const int mxn = 205000;
8
9  //////////////////////////////////////
10
11 struct node* nil;
12 struct node
13 {
14     int v;
15     int cnt;
16     node*s[2];
17     node*f;
18     void update()
19     {
20         cnt=1;
21         if(s[0]!=nil) cnt+=s[0]->cnt;
22         if(s[1]!=nil) cnt+=s[1]->cnt;
23     }
24 }
25 pool[mxn]; node* nt=pool;
26
27 node*newnode(int v, node*f)
28 {
29     nt->v=v;
30     nt->cnt=1;
31     nt->s[0]=nt->s[1]=nil;
32     nt->f=f;
33     return nt++;
34 }
35
36
37 struct SplayTree
38 {
39     node*root;
40     SplayTree():root(nil){}
41
42     void rot(node*x)
43     {
44         node*y=x->f;
45         int k=(x==y->s[0]);
46
47         y->s[k^1]=x->s[k];
48         if(x->s[k]!=nil) x->s[k]->f=y;
49
50         x->f=y->f;
51         if(y->f!=nil) y->f->s[y==y->f->s[1]]=x;
52
53         y->f=x; x->s[k]=y;
54
55         y->update();

```

```
56     }
57
58     node* splay(node*x,node*t=nil)
59     {
60         while(x->f!=t)
61         {
62             node*y=x->f;
63             if(y->f!=t)
64                 if((x==y->s[0])^(y==y->f->s[0]))
65                     rot(x); else rot(y);
66             rot(x);
67         }
68         x->update();
69         if(t==nil) root=x;
70         return x;
71     }
72
73     //=====
74
75     void Insert(int v)
76     {
77         if(root==nil) { root=newnode(v, nil); return; }
78         node *x=root, *y=root;
79         while(x!=nil) { y=x; x=x->s[x->v <= v]; }
80         splay(y->s[y->v<=v] = newnode(v, y));
81     }
82
83
84     node*Find(int v) // 查找值相等的节点. 找不到会返回 nil.
85     {
86         node *x=root, *y=root;
87         node *r=nil;
88         while(x!=nil)
89         {
90             y=x;
91             if(x->v==v) r=x;
92             x=x->s[x->v < v];
93         }
94         splay(y);
95         return r;
96     }
97
98     node* FindRank(int k) // 查找排名为 k 的节点.
99     {
100         node *x=root, *y=root;
101         while(x!=nil)
102         {
103             y=x;
104             if(k==x->s[0]->cnt+1) break;
105             if(k<x->s[0]->cnt+1) x=x->s[0];
106             else { k-=x->s[0]->cnt+1; x=x->s[1]; }
107         }
108         splay(y);
109         return x;
110     }
111
112     // 排名从 1 开始.
113     int GetRank(node*x) { return splay(x)->s[0]->cnt+1; }
114
115     node*Delete(node*x)
116     {
117         int k=GetRank(x);
118         node*L=FindRank(k-1);
119         node*R=FindRank(k+1);
120
121         if(L!=nil) splay(L);
122         if(R!=nil) splay(R,L);
123
124         if(L==nil && R==nil) root=nil;
125         else if(R==nil) L->s[1]=nil;
126         else R->s[0]=nil;
127
128         if(R!=nil) R->update();
129         if(L!=nil) L->update();
130
131         return x;
132     }
```

```
133
134     node*Prefix(int v) // 前驱.
135     {
136         node *x=root, *y=root;
137         node*r=nil;
138         while(x!=nil)
139         {
140             y=x;
141             if(x->v<v) r=x;
142             x=x->s[x->v<v];
143         }
144         splay(y);
145         return r;
146     }
147
148     node*Suffix(int v) // 后继.
149     {
150         node *x=root, *y=root;
151         node*r=nil;
152         while(x!=nil)
153         {
154             y=x;
155             if(x->v>v) r=x;
156             x=x->s[x->v<=v];
157         }
158         splay(y);
159         return r;
160     }
161
162     //=====
163     void output() { output(root); printf("%s\n",root==nil ? "empty tree!" : ""); }
164     void output(node*x)
165     {
166         if(x==nil)return ;
167         output(x->s[0]);
168         printf("%d ",x->v);
169         output(x->s[1]);
170     }
171
172     void test() { test(root); printf("%s\n",root==nil ? "empty tree!" : ""); }
173     void test(node*x)
174     {
175         if(x==nil)return ;
176         test(x->s[0]);
177         printf("%p [ v:%d f:%p L:%p R:%p cnt:%d ] \n",x,x->v,x->f,x->s[0],x->s[1],x->cnt);
178         test(x->s[1]);
179     }
180
181 };
182
183
184 int n;
185
186 int main()
187 {
188     nil=newnode(-1, nullptr);
189     nil->cnt=0;
190     nil->f=nil->s[0]=nil->s[1]=nil;
191
192     n=getint();
193     SplayTree st;
194
195     for(int i=0;i<n;i++)
196     {
197         int c;
198         c=getint();
199         switch(c)
200         {
201             case 1: //Insert
202                 c=getint();
203                 st.Insert(c);
204                 break;
205             case 2: //Delete
206                 c=getint();
207                 st.Delete(st.Find(c));
208                 break;
209             case 3: //Rank
```

```
210         c=getint();
211         printf("%d\n",st.GetRank(st.Find(c)));
212     break;
213     case 4: //FindRank
214         c=getint();
215         printf("%d\n",st.FindRank(c)->v);
216     break;
217     case 5: //prefix
218         c=getint();
219         printf("%d\n",st.Prefix(c)->v);
220     break;
221     case 6: //suffix
222         c=getint();
223         printf("%d\n",st.Suffix(c)->v);
224     break;
225     case 7: //test
226         st.test();
227     break;
228     default: break;
229 }
230 }
231
232 return 0;
233 }
```

表达式解析

```
1  /// 表达式解析
2  /// 线性扫描，直接计算。
3  /// 不支持三元运算符。
4  /// 一元运算符经过特殊处理，它们不会（也不应）与二元运算符共用一种符号。
5
6  /// prio: 字符优先级，在没有括号的约束下，优先级高的优先计算。
7  /// pref: 结合顺序。pref[i] == true 表示从左到右结合，false 则为从右到左结合。
8  /// 圆括号运算符会特别对待。
9
10 /// 如果需要建树，直接改 Calc 和 Push 函数。
11
12 /// ctt: 字符集编号下界。
13 /// ctf: 字符集编号上界。
14 /// ctx: 字符集大小。
15 const int ctf = -128;
16 const int ctt = 127;
17 const int ctx = ctt - ctf;
18
19 /// 表达式字符总数。
20 const int mxn = 1005000;
21
22 /// inp: 输入的表达式，已经去掉了空格。
23 /// inpt: 输入的表达式的长度。
24 /// sx, aval: 由 Destruct 设定的外部变量数组。无需改动。
25 /// 用法：
26 int len = Destruct(inp, inpt);
27 Evaluate(sx, len, aval);
28
29
30 /// 重新初始化：调用 Destruct 即可。
31
32 //////////////////////////////////////
33
34 int _prio[ctx]; int* prio = _prio - ctf;
35 bool _pref[ctx]; bool* pref = _pref - ctf;
36
37 // 设置一个运算符的优先级和结合顺序。
38 void SetProp(char x, int a, int b) { prio[x] = a; pref[x] = b; }
39
40 stack<int> ap; // 变量栈。
41 stack<char> op; // 符号栈。
42
43 int Fetch() { int x = ap.top(); ap.pop(); return x; }
44 void Push(int x) { ap.push(x); }
45
46 /// 这个函数定义了如何处理栈内的实际元素。
47 void Calc()
48 {
```



```

49     char cop = op.top(); op.pop();
50     switch(cop)
51     {
52     case '+': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a + b); } return;
53     case '-': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a - b); } return;
54     case '*': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a * b); } return;
55     case '/': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a / b); } return;
56     case '|': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a | b); } return;
57     case '&': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a & b); } return;
58     case '^': { int b = Fetch(); int a = Fetch(); Push(a ^ b); } return;
59     case '!': { int a = Fetch(); Push(a); } return;    // '+' 的一元运算符.
60     case '~': { int a = Fetch(); Push(-a); } return;  // '-' 的一元运算符.
61     default: return;
62     }
63 }
64
65 /// s: 转化后的表达式, 其中 0 表示变量, 其它表示相应运算符.    Len: 表达式长度.
66 /// g: 变量索引序列, 表示表达式从左到右的变量分别是哪个.
67 void Evaluate(char* s, int len, int* g)
68 {
69     int gc = 0;
70     for(int i=0; i<len; i++)
71     {
72         if(s[i] == 0) // 输入是一个变量. 一般可以直接按需求改掉, 例如 if(IsVar(s[i])).
73         {
74             Push(g[gc++]); // 第 gc 个变量的 ** 值 ** 入栈.
75         }
76         else // 输入是一个运算符 s[i].
77         {
78             if(s[i] == '(') op.push(s[i]);
79             else if(s[i] == ')')
80             {
81                 while(op.top() != '(') Calc();
82                 op.pop();
83             }
84             else
85             {
86                 while( prio[s[i]] < prio[op.top()] ||
87                     (prio[s[i]] == prio[op.top()] && pref[s[i]] == true))
88                     Calc();
89                 op.push(s[i]);
90             }
91         }
92     }
93 }
94
95 /// 解析一个字符串, 得到能够被上面的函数处理的格式.
96 /// 对于这个函数而言, " 变量" 是某个十进制整数.
97 /// 有些时候输入本身就是这样的格式, 就不需要过多处理.
98 /// 支持的二元运算符: +, -, *, /, |, &, ^. 支持的一元运算符: +, -.
99 char sx[mxn]; // 表达式序列.
100 int aval[mxn]; // 数字. 这些是扔到变量栈里面的东西.
101             // 可以直接写成某种 place holder, 如果不关心这些变量之间的区别的话.
102 /// 返回: 表达式序列长度.
103 int Destruct(char* s, int len)
104 {
105     int xlen = 0;
106     sx[xlen++] = '(';
107     bool cvr = false;
108     int x = 0;
109     int vt = 0;
110     for(int i=0; i<len; i++)
111     {
112         if('0' <= s[i] && s[i] <= '9')
113         {
114             if(!cvr) sx[xlen++] = 0;
115             cvr = true;
116             if(cvr) x = x * 10 + s[i] - '0';
117         }
118         else
119         {
120             if(cvr) { aval[vt++] = x; x = 0; }
121             cvr = false;
122             sx[xlen++] = s[i];
123         }
124     }
125     if(cvr) { aval[vt++] = x; x = 0; }

```

```

126
127     for(int i=xlen; i>=1; i--) // 一元运算符特判, 修改成不同于二元运算符的符号.
128         if((sx[i]=='+' || sx[i]=='-') && sx[i-1] != ')') && sx[i-1])
129             sx[i] = sx[i] == '+' ? '!' : '~';
130
131     sx[xlen++] = ')';
132     return xlen;
133 }
134
135 char c[mxn];
136
137 char inp[mxn]; int inpt;
138 int main()
139 {
140     SetProp('(', 0, true);
141     SetProp(')', 0, true);
142
143     SetProp('+', 10, true);
144     SetProp('-', 10, true);
145
146     SetProp('*', 100, true);
147     SetProp('/', 100, true);
148
149     SetProp('|', 1000, true);
150     SetProp('&', 1001, true);
151     SetProp('^', 1002, true);
152
153     SetProp('!', 10000, false);
154     SetProp('~', 10000, false);
155
156     inpt = 0;
157     char c;
158     while((c = getchar()) != EOF && c != '\n' && c!='\r') if(c != ' ') inp[inpt++] = c;
159     // 输入.
160     printf("%s\n", inp);
161     // 表达式符号.
162     int len = Destruct(inp, inpt);
163     for(int i=0; i<len; i++) if(sx[i] == 0) printf("."); else printf("%c", sx[i]); printf("\n");
164     // 运算数.
165     int t = 0; for(int i=0; i<len; i++) if(sx[i] == 0) printf("%d ", aval[t++]); printf("\n");
166     Evaluate(sx, len, aval);
167     // 结果.
168     printf("%d\n", ap.top());
169
170     return 0;
171 }
172
173 // (123+---213+---321)+4*--57^6 = -159 correct!

```

并查

```

1  /// 并查集
2
3
4  /// 简易的集合合并并查集, 带路径压缩.
5  /// 重新初始化:
6  memset(f, 0, sizeof(int) * (n+1));
7  //////////////////////////////////////
8  int f[mxn];
9  int findf(int x){ return f[x]==x ? x : f[x]=findf(f[x]); }
10 int connect(int a,int b){ f[findf(a)]=findf(b); }
11
12
13 /// 集合并查集, 带路径压缩和按秩合并.
14 /// c[i]: 点 i 作为集合表头时, 该集合大小.
15 /// 重新初始化:
16 memset(f, 0, sizeof(int) * (n+1));
17 memset(c, 0, sizeof(int) * (n+1));
18 //////////////////////////////////////
19 int f[mxn];
20 int c[mxn];
21 int connect(int a,int b)
22 {
23     if(c[findf(a)]>c[findf(b)]) // 把 b 接到 a 中.
24     { c[findf(a)]+=c[findf(b)]; f[findf(b)] = findf(a); } // 执行顺序不可对调.

```

```

25     else // 把 a 接到 b 中.
26     { c[findf(b)]+=c[findf(a)]; f[findf(a)] = findf(b); }
27 }
28
29
30 /// 集合并查集, 带路径压缩, 非递归.
31 /// 重新初始化:
32 memset(f, 0, sizeof(int) * (n+1));
33 //////////////////////////////////////
34 int f[mxn];
35 int findf(int x) // 传入参数 x 不可为引用.
36 {
37     stack<int> q;
38     while(f[x]!=x) q.push(x), x=f[x];
39     while(!q.empty()) f[q.top()]=x, q.pop();
40 }
41 void connect(int a,int b){ f[findf(a)]=findf(b); } // * 可以换成按秩合并版本 *.

```

可持久化并查集

```

1  int n,m,sz;
2  int root[200005],ls[200005],rs[200005],v[200005],deep[200005];
3  void build(int &k,int l,int r){
4      if(!k)k=++sz;
5      if(l==r){v[k]=l;return;}
6      int mid=(l+r)>>1;
7      build(ls[k],l,mid);
8      build(rs[k],mid+1,r);
9  }
10 void modify(int l,int r,int x,int &y,int pos,int val){
11     y=++sz;
12     if(l==r){v[y]=val;return;}
13     ls[y]=ls[x];rs[y]=rs[x];
14     int mid=(l+r)>>1;
15     if(pos<=mid)
16         modify(l,mid,ls[x],ls[y],pos,val);
17     else modify(mid+1,r,rs[x],rs[y],pos,val);
18 }
19 int query(int k,int l,int r,int pos){
20     if(l==r)return k;
21     int mid=(l+r)>>1;
22     if(pos<=mid)return query(ls[k],l,mid,pos);
23     else return query(rs[k],mid+1,r,pos);
24 }
25 void add(int k,int l,int r,int pos){
26     if(l==r){deep[k]++;return;}
27     int mid=(l+r)>>1;
28     if(pos<=mid)add(ls[k],l,mid,pos);
29     else add(rs[k],mid+1,r,pos);
30 }
31 int find(int k,int x){
32     int p=query(k,1,n,x);
33     if(x==v[p])return p;
34     return find(k,v[p]);
35 }
36 int la=0;
37 int main(){
38     n=read();m=read();
39     build(root[0],1,n);
40     int f,k,a,b;
41     for(int i=1;i<=m;i++){
42         f=read();
43         if(f==1){//合并
44             root[i]=root[i-1];
45             a=read()^la;b=read()^la;
46             int p=find(root[i],a),q=find(root[i],b);
47             if(v[p]==v[q])continue;
48             if(deep[p]>deep[q])swap(p,q);
49             modify(1,n,root[i-1],root[i],v[p],v[q]);
50             if(deep[p]==deep[q])add(root[i],1,n,v[q]);
51         }
52         if(f==2)//返回第 k 次的状态
53         {k=read()^la;root[i]=root[k];}
54         if(f==3){//询问
55             root[i]=root[i-1];

```

```

56         a=read()^la;b=read()^la;
57         int p=find(root[i],a),q=find(root[i],b);
58         if(v[p]==v[q])puts("1"),la=1;
59         else puts("0"),la=0;
60     }
61 }
62 return 0;
63 }

```

可持久化线段树

```

1  /// 可持久化线段树。
2
3  /// 动态开点的权值线段树；查询区间  $k$  大；
4  /// 线段树节点记录区间内打上了标记的节点有多少个；只支持插入；不带懒标记。
5  /// 如果要打  $tag$  和推  $tag$ ，参考普通线段树。注意这样做以后基本就不能支持两棵树相减（因为查询时要推  $tag$ ）。
6
7  /// AC : vijos 1081 野生动物园
8
9  /// 池子大小。通常需要直接开到  $\log(V)$ 。
10 /// 离散化可以缩小需要的点数。
11 const int pg = 3200000;
12
13 /// 树根数量。
14 const int mxn = 105000;
15
16 /// 权值的最大值。默认线段树的插入范围是  $[0, INF]$ 。离散化可以改成  $n$ 。
17 const int INF=(1<<30)-1;
18
19 /// 重新初始化：
20 SegmentTreeInit(n);
21
22 //////////////////////////////////////
23
24 struct node
25 {
26     node *l, *r;
27     int t;
28     void upd() { t = l->t + r->t; }
29 }pool[pg];
30 node* nt;
31 node* newnode() { memset(nt, 0, sizeof(node)); return nt++; }
32
33 node* nil;
34 node* root[mxn];
35
36 void SegTreeInit(int sz = 0)
37 {
38     nt = pool;
39     nil = newnode();
40     nil->l = nil->r = nil;
41     nil->t = 0;
42     root[0] = nil;
43 }
44
45 /// 在（子）树  $y$  的基础上新建（子）树  $x$ ，修改树中位置为  $cp$  的值。
46 int cp;
47 node*Change(node*y, int l = 0, int r = INF)
48 {
49     if(cp<l || r<cp) return y;
50     node* x = newnode();
51     if(l==r) { x->t = 1 + y->t; return x; }
52     int mid = (l+r)>>1;
53     x->l = Change(y->l, l, mid);
54     x->r = Change(y->r, mid+1, r);
55     x->upd();
56     return x;
57 }
58
59 /// 查询区间  $[L, R]$  中的第  $k$  大。
60 int Query(int ql, int qr, int k)
61 {
62     node *x = root[qr], *y = root[ql-1];
63     int l = 0, r = INF;
64     while(l != r)

```

```

65     {
66         int mid = (l+r)>>1;
67         if(k <= x->l->t - y->l->t)
68             r = mid, x = x->l, y = y->l;
69         else
70         {
71             k -= x->l->t-y->l->t;
72             l = mid+1, x = x->r, y = y->r;
73         }
74     }
75     return l;
76 }

```

轻重边剖分

```

1  /// 轻重边剖分 +dfs 序.
2  /// ** 节点编号从 1 开始 **.
3  const int mxn = 105000; // 最大节点数.
4
5  int n;           /// 树上的点数.
6  int vat[mxn];    /// 树上点的初始权值.
7  int c[mxn];      /// 顶点 i 属于的链的编号.
8  int f[mxn];      /// 顶点 i 的父节点.
9  int dep[mxn];    /// 节点深度.
10 int mxi[mxn];    /// 记录点 i 的重边应该连向哪个子节点. 用于 dfs 序构建.
11 int sz[mxn];     /// 子树 i 的节点个数.
12 int ct;          /// 链的数量. 也是叶节点数量.
13 int ch[mxn];     /// 链头节点编号. 从 0 开始.
14 int loc[mxn];    /// 节点 i 在 dfs 序中的位置. 从 0 开始.
15 int til[mxn];    /// 以节点 i 为根的子树在 dfs 序中的末尾位置. ** 闭区间 **, 从 0 开始.
16
17 /// 操作子树 i 的信息  <=> 操作线段树上闭区间 loc[i], til[i].
18 /// 操作路径信息 <=> 按照 LCA 访问方式访问线段树上的点.
19
20 /// 重新初始化:
21 et = pool;
22 memset(eds, 0, sizeof(edge*) * (n + 1));
23
24 //////////////////////////////////////
25
26 struct edge{ int in; edge*nxt; } pool[mxn<<1];
27 edge*eds[mxn]; edge*et=pool;
28 void addedge(int a,int b){ et->in=b; et->nxt=eds[a]; eds[a]=et++; }
29 #define forsons(e,x) for(edge*e=eds[x];e=e->nxt) if(f[x]!=e->in)
30
31 void BuildChain(int root) /// 拓扑序搜索 (逆向广搜).
32 {
33     static int q[mxn]; int qh = 0, qt = 0;
34     f[root]=-1; // 不要修改! 清除根的 f 标记能够使递推在不清除 f 数组的情况下正确运行.
35     q[qt++]=root;
36     dep[root] = 1;
37     while(qh != qt)
38     {
39         int x = q[qh++];
40         forsons(e,x) f[e->in] = x, dep[e->in] = dep[x] + 1, q[qt++] = e->in;
41     }
42     repr(i, 0, n-1)
43     {
44         int x = q[i];
45         sz[x] = 0;
46         mxi[x] = -1; // 不要修改! 这个标记不能和节点编号冲突.
47         forsons(e, x)
48         {
49             sz[x] += sz[e->in];
50             if(mxi[x] == -1 || sz[e->in] > sz[mxi[x]]) mxi[x] = e->in;
51         }
52         if(mxi[x] == -1) { sz[x] = 1; ch[ct] = x; c[x] = ct++; continue; } // 叶子. 开一条链.
53         c[x] = c[mxi[x]]; ch[c[x]] = x;
54     }
55 }
56
57 // 如果不需要 dfs 序, 只需要节点所在链的信息, 该函数可去掉.
58 int curl;
59 void BuildDFSOrder(int x)
60 {

```

```

61     loc[x] = curl++;
62     if(mx1[x] != -1) BuildDFSOrder(mx1[x]); // dfs 序按照重边优先顺序构造，可以保证所有重边在 dfs 序上连续。
63     forsons(e,x) if(e->in != mx1[x]) BuildDFSOrder(e->in);
64     til[x] = curl-1;
65 }
66
67 void HLD(int root)
68 {
69     ct = 0; BuildChain(root);
70     curl = 0; BuildDFSOrder(root);
71 }
72
73 /// 求最近公共祖先;
74 /// 在路径 a<->b 上执行函数 F，其中第一个参数是底部节点的编号，第二个是左端界，第三个是右端界。闭区间。
75 int Link(int a, int b, function<void(int,int,int)> const& F)
76 {
77     while(c[a] != c[b])
78     {
79         if(dep[ch[c[a]]] < dep[ch[c[b]]]) swap(a, b);
80         F(a, loc[ch[c[a]]], loc[a]);
81         a = f[ch[c[a]]];
82     }
83     if(dep[a] < dep[b]) swap(a, b);
84     F(a, loc[b], loc[a]);
85     return b;
86 }

```

手写 bitset

```

1  /*
2      预处理  $p[i] = 2^i$ 
3      保留  $N$  位
4       $get(d)$  获取  $d$  位
5       $set(d,x)$  将  $d$  位设为  $x$ 
6       $count()$  返回 1 的个数
7       $zero()$  返回是不是 0
8       $print()$  输出
9  */
10 #define lsix(x) ((x)<<6)
11 #define rsix(x) ((x)>>6)
12 #define msix(x) ((x)-(((x)>>6)<<6))
13 ull p[64] = {1};
14 struct BitSet{
15     ull s[rsix(N-1)+1];
16     int cnt;
17     void resize(int n){
18         if(n>N)n=N;
19         int t = rsix(n-1)+1;
20         if(cnt<t)
21             memset(s+cnt,0,sizeof(ull)*(t-cnt));
22         cnt = t;
23     }
24     BitSet(int n){
25         SET(s,0);
26         cnt=1;
27         resize(n);
28     }
29     BitSet(){cnt=1;SET(s,0);}
30     BitSet operator & (BitSet &that){
31         int len = min(that.cnt, this->cnt);
32         BitSet ans(lsix(len));
33         Repr(i,len)ans.s[i] = this->s[i] & that.s[i];
34         ans.maintain();
35         return ans;
36     }
37     BitSet operator | (BitSet &that){
38         int len = max(that.cnt, this->cnt);
39         BitSet ans(lsix(len));
40         Repr(i,len)ans.s[i] = this->s[i] | that.s[i];
41         ans.maintain();
42         return ans;
43     }
44     BitSet operator ^ (BitSet &that){
45         int len = max(that.cnt, this->cnt);
46         BitSet ans(lsix(len));

```

```

47     Repr(i,len)ans.s[i] = this->s[i] ^ that.s[i];
48     ans.maintain();
49     return ans;
50 }
51 BitSet operator << (int x){
52     int c = rsix(x), r = msix(x);
53     BitSet ans(lsix(cnt+c+(r!=0)));
54     for (int i = min(ans.cnt-1, cnt+c); i-c >= 0; --i){
55         if(i-c<cnt)
56             ans.s[i] = s[i-c] << r;
57         if (r && i-c-1 >= 0) ans.s[i] |= s[i-c-1] >> (64-r);
58     }
59     ans.maintain();
60     return ans;
61 }
62 BitSet operator >> (int x){
63     int c = rsix(x), r = msix(x);
64     BitSet ans(lsix(cnt));
65     if(c>=cnt)return ans;
66     Rep(i,cnt-c){
67         ans.s[i] = s[i+c] >> r;
68         if (r && i+c+1 < cnt) ans.s[i] |= s[i+c+1] << (64-r);
69     }
70     ans.maintain();
71     return ans;
72 }
73 int get(int d){
74     int c = rsix(d), r = msix(d);
75     if(c>=cnt)return 0;
76     return (s[c] & p[r]);
77 }
78 void set(int d, int x){
79     if(d>N)return;
80     int c = rsix(d), r = msix(d);
81     if(c>=cnt)
82         resize(lsix(c+1));
83     if(x&&(s[c] & p[r]))return;
84     if(!x&&!(s[c] & p[r]))return;
85     s[c] ^= p[r];
86 }
87 int count(){
88     int res=0;
89     Rep(i,cnt){
90         ull x = s[i];
91         while(x){
92             res++;
93             x&=x-1;
94         }
95     }
96     return res;
97 }
98 void maintain(){
99     while(s[cnt-1]==0&&cnt>1)
100         cnt--;
101     if(lsix(cnt)>N){
102         while(lsix(cnt)>N)cnt--;
103         if(lsix(cnt)<N){
104             cnt++;
105             for(int i = 63;i>N-lsix(cnt-1)-1;--i)
106                 if(p[i]&s[cnt-1])s[cnt-1]-=p[i];
107         }
108     }
109 }
110 bool zero(){
111     Rep(i,cnt)if(s[i])return 0;
112     return 1;
113 }
114 void print(){
115     if(lsix(cnt)<=N){
116         rep(i,N-lsix(cnt))putchar('0');
117         Repr(j,64)putchar(p[j] & s[cnt-1]?'1':'0');
118     }else{
119         Repr(i,N-lsix(cnt-1)-1)
120             putchar(p[i] & s[cnt-1]?'1':'0');
121     }
122     Repr(i,cnt-2){
123         ull x = s[i];

```

```
124         Repr(j,64)putchar(p[j] & x?'1':'0');
125     }
126     putchar('\n');
127 }
128 };
```

树状数组

```
1  inline int lowbit(int x){return x&-x;}
2  //前缀和, 可改前缀最大值
3  void update(int d, int x=1){
4      if(!d)return;
5      while(d<=n){
6          T[d]+=x;
7          d+=lowbit(d);
8      }
9  }
10 int ask(int d){
11     int res(0);
12     while(d>0){
13         res+=T[d];
14         d-=lowbit(d);
15     }
16     return res;
17 }
```

线段树

```
1  /// 线段树.
2  /// 带乘法和加法标记.
3  /// 只作为样例解释.
4  /// 线段树池子开到节点数的五倍.
5
6  /// mxn: 区间节点数. 线段树点数是它的四倍.
7  const int mxn = 105000;
8  /// n: 实际节点数.
9  /// a: 初始化列表.
10
11 /// 重新初始化:
12 build(); // 可以不使用初始化数组 A.
13
14 //////////////////////////////////////
15
16 ll a[mxn];
17 int n,m;
18 ll MOD;
19
20 #define L (x<<1)
21 #define R (x<<1|1)
22 ll t[mxn * 5]; // 当前真实值.
23 ll tagm[mxn * 5]; // 乘法标记.
24 ll taga[mxn * 5]; // 加法标记. 在乘法之后应用.
25 void pushtag(int x,int l,int r)
26 {
27     if(tagm[x]==1 && taga[x]==0) return;
28     ll &m = tagm[x]; ll &a = taga[x];
29     // 向下合并标记.
30     (tagm[L] *= m) %= MOD;
31     (tagm[R] *= m) %= MOD;
32     taga[L] = (taga[L] * m % MOD + a) % MOD;
33     taga[R] = (taga[R] * m % MOD + a) % MOD;
34     // 修改子节点真实值.
35     int mid = (l+r)>>1;
36     t[L] = (t[L] * m % MOD + (mid-l+1) * a) % MOD;
37     t[R] = (t[R] * m % MOD + (r-mid) * a) % MOD;
38     // 清理当前标记.
39     tagm[x] = 1;
40     taga[x] = 0;
41 }
42
43 /// 从子节点更新当前节点真实值.
44 /// 以下程序可以保证在 Update 之前该节点已经没有标记.
45 void update(int x) { t[x] = (t[L] + t[R]) % MOD; }
46
```



```
47 void build(int x=1,int l=0,int r=n) // 初始化.
48 {
49     taga[x] = 0; tagm[x] = 1;
50     if(l==r) { t[x] = a[l] % MOD; return; }
51     int mid=(l+r)>>1;
52     build(L,l,mid); build(R,mid+1,r);
53     update(x);
54 }
55
56 int cl,cr; ll cv; int ct;
57 void Change(int x=1,int l=0,int r=n)
58 {
59     if(cr<l || r<cl) return;
60     if(cl<=l && r<=cr) // 是最终访问节点, 修改真实值并打上标记.
61     {
62         if(ct == 1)
63         {
64             (tagm[x] *= cv) %= MOD;
65             (taga[x] *= cv) %= MOD;
66             (t[x] *= cv) %= MOD;
67         }
68         else if(ct == 2)
69         {
70             (taga[x] += cv) %= MOD;
71             (t[x] += (r-l+1) * cv) %= MOD;
72         }
73         return;
74     }
75     pushtag(x,l,r); // 注意不要更改推标记操作的位置.
76     int mid = (l+r)>>1;
77     Change(L,l,mid); Change(R,mid+1,r); update(x);
78 }
79
80 void Modify(int l,int r,ll v,int type)
81 { cl=l; cr=r; cv=v; ct=type; Change(); }
82
83 int ql,qr;
84 ll Query(int x=1,int l=0,int r=n)
85 {
86     if(qr<l || r<ql) return 0;
87     if(ql<=l && r<=qr) return t[x];
88     pushtag(x,l,r); // 注意不要更改推标记操作的位置.
89     int mid=(l+r)>>1;
90     return (Query(L,l,mid) + Query(R,mid+1,r)) % MOD;
91 }
92 ll Getsum(int l,int r)
93 { ql=l; qr=r; return Query(); }
94
95 void Output(int x=1,int l=0,int r=n,int depth=0)
96 {
97     printf("[%d] [%d,%d] t:%lld m:%lld a:%lld\n",x,l,r,t[x],taga[x],tagm[x]);
98     if(l==r) return;
99     int mid=(l+r)>>1; Output(L,l,mid); Output(R,mid+1,r);
100 }
101
102 int main()
103 {
104     n=getint(); MOD=getint();
105     for(int i=1;i<=n;i++) a[i]=getint();
106     build();
107     m=getint();
108     for(int i=0;i<m;i++)
109     {
110         int type = getint();
111         if(type==3)
112         {
113             int l = getint();
114             int r = getint();
115             printf("%lld\n",Getsum(l,r));
116         }
117         else
118         {
119             int l = getint();
120             int r = getint();
121             int v = getint();
122             Modify(l,r,v,type);
123         }
124     }
```

```

124     }
125     return 0;
126 }
127
128 //////////////////////////////////////
129
130 /// 线段树 II.
131 /// 求区间中数字的平方和与和的平方.
132 /// 可以用来求区间中数字的两两之积, 它等于 二分之一倍和的平方减去平方之和.  $0.5 * ((\sigma_{ai})^2 - \sigma_{ai^2})$ 
133
134 struct Num
135 {
136     static const int mod = 1e9+7;
137     int v;
138     Num() { }
139     Num(int const& x) : v(x) { }
140     Num operator+(Num const& a) const { return { (a.v + v) % mod }; }
141     Num operator-(Num const& a) const { return { (v - a.v + mod) % mod }; }
142     Num operator*(Num const& a) const { return { (int)((1LL * a.v * v) % mod) }; }
143 };
144
145 struct TD    /// 线段树数据池子.
146 {
147     Num sum;    /// 区间和.
148     Num sqs;    /// 区间每个数平方和.
149     Num add;    /// 区间加标记.
150 } t[mxn * 5];
151
152 inline void pushtag(int x, int l, int r)
153 {
154     if(t[x].add.v == 0) return;
155     int mid = (l + r) >> 1;
156
157     Num v = t[x].add; t[x].add = 0;
158
159     t[L].add = t[L].add + v;
160     t[L].sqs = t[L].sqs + t[L].sum * v * 2 + v * v * (mid - l + 1);
161     t[L].sum = t[L].sum + v * (mid - l + 1);
162
163     t[R].add = t[R].add + v;
164     t[R].sqs = t[R].sqs + t[R].sum * v * 2 + v * v * (r - mid);
165     t[R].sum = t[R].sum + v * (r - mid);
166 }
167
168 inline void upd(int x,int l,int r)
169 {
170     t[x].sum = t[L].sum + t[R].sum;
171     t[x].sqs = t[L].sqs + t[R].sqs;
172 }

```

左偏树

```

1  int n,m,root,add;
2  struct node{
3      int key,l,r,fa,add;
4  }heap1[maxn*2+1],heap2[maxn*2+1];
5  void down(int x){
6      heap1[heap1[x].l].key+=heap1[x].add;
7      heap1[heap1[x].l].add+=heap1[x].add;
8      heap1[heap1[x].r].key+=heap1[x].add;
9      heap1[heap1[x].r].add+=heap1[x].add;
10     heap1[x].add=0;
11 }
12 int fa(int x){
13     int tmp=x;
14     while (heap1[tmp].fa) tmp=heap1[tmp].fa;
15     return tmp;
16 }
17 int sum(int x){
18     int tmp=x,sum=0;
19     while (tmp=heap1[tmp].fa) sum+=heap1[tmp].add;
20     return sum;
21 }
22 int mergel(int x,int y){
23     if (!x || !y) return x?x:y;

```

```

24         if (heap1[x].key<heap1[y].key) swap(x,y);
25         down(x);
26         heap1[x].r=merge1(heap1[x].r,y);
27         heap1[heap1[x].r].fa=x;
28         swap(heap1[x].l,heap1[x].r);
29         return x;
30     }
31     int merge2(int x,int y){
32         if (!x || !y) return x?x:y;
33         if (heap2[x].key<heap2[y].key) swap(x,y);
34         heap2[x].r=merge2(heap2[x].r,y);
35         heap2[heap2[x].r].fa=x;
36         swap(heap2[x].l,heap2[x].r);
37         return x;
38     }
39     int del1(int x){
40         down(x);
41         int y=merge1(heap1[x].l,heap1[x].r);
42         if (x==heap1[heap1[x].fa].l) heap1[heap1[x].fa].l=y;else heap1[heap1[x].fa].r=y;
43         heap1[y].fa=heap1[x].fa;
44         return fa(y);
45     }
46     void del2(int x){
47         int y=merge2(heap2[x].l,heap2[x].r);
48         if (root==x) root=y;
49         if (x==heap2[heap2[x].fa].l) heap2[heap2[x].fa].l=y;else heap2[heap2[x].fa].r=y;
50         heap2[y].fa=heap2[x].fa;
51     }
52     void renew1(int x,int v){
53         heap1[x].key=v;
54         heap1[x].fa=heap1[x].l=heap1[x].r=0;
55     }
56     void renew2(int x,int v){
57         heap2[x].key=v;
58         heap2[x].fa=heap2[x].l=heap2[x].r=0;
59     }
60     //建树
61     int heapify(){
62         queue<int> Q;
63         for (int i=1;i<=n;++i) Q.push(i);
64         while (Q.size()>1){
65             int x=Q.front();Q.pop();
66             int y=Q.front();Q.pop();
67             Q.push(merge2(x,y));
68         }
69         return Q.front();
70     }
71     //合并两棵树
72     void U(){
73         int x,y;scanf("%d%d",&x,&y);
74         int fx=fa(x),fy=fa(y);
75         if (fx!=fy) if (merge1(fx,fy)==fx) del2(fy);else del2(fx);
76     }
77     //单点修改
78     void A1(){
79         int x,v;scanf("%d%d",&x,&v);
80         del2(fa(x));
81         int y=del1(x);
82         renew1(x,heap1[x].key+v+sum(x));
83         int z=merge1(y,x);
84         renew2(z,heap1[z].key);
85         root=merge2(root,z);
86     }
87     //联通块修改
88     void A2(){
89         int x,v,y;scanf("%d%d",&x,&v);
90         del2(y=fa(x));
91         heap1[y].key+=v;
92         heap1[y].add+=v;
93         renew2(y,heap1[y].key);
94         root=merge2(root,y);
95     }
96     //全局修改
97     void A3(){
98         int v;scanf("%d",&v);
99         add+=v;
100     }

```

```
101 //单点查询
102 void F1(){
103     int x;scanf("%d",&x);
104     printf("%d\n",heap1[x].key+sum(x)+add);
105 }
106 //联通块最大值
107 void F2(){
108     int x;scanf("%d",&x);
109     printf("%d\n",heap1[fa(x)].key+add);
110 }
111 //全局最大值
112 void F3(){
113     printf("%d\n",heap2[root].key+add);
114 }
115 int main(){
116     scanf("%d",&n);
117     for (int i=1;i<=n;++i)
118         scanf("%d",&heap1[i].key),heap2[i].key=heap1[i].key;
119     root=heapify();
120     scanf("%d",&m);
121     for (int i=1;i<=m;++i){
122         scanf("%s",s);
123         if (s[0]=='U') U();
124         if (s[0]=='A'){
125             if (s[1]=='1') A1();
126             if (s[1]=='2') A2();
127             if (s[1]=='3') A3();
128         }
129         if (s[0]=='F'){
130             if (s[1]=='1') F1();
131             if (s[1]=='2') F2();
132             if (s[1]=='3') F3();
133         }
134     }
135     return 0;
136 }
```

图论

k 短路可持久化堆

```
1  /*
2      G 为原图, E 为反图
3      细节看 solve()
4  */
5  namespace Leftist_Tree{
6      struct Node{
7          int l, r, x, h;
8          int val;
9      }T[N*50];
10     int Root[N];
11     int node_num;
12     int newnode(const Node& o){
13         T[node_num] = o;
14         return node_num++;
15     }
16     void init(){
17         node_num = 1;
18         T[0].l = T[0].r = T[0].x = T[0].h = 0;
19         T[0].val = inf;
20     }
21     int merge(int x, int y){
22         if(!x)return y;
23         if(T[x].val> T[y].val)swap(x,y);
24         int o = newnode(T[x]);
25         T[o].r = merge(T[o].r,y);
26         if(T[T[o].l].h<T[T[o].r].h)swap(T[o].l,T[o].r);
27         T[o].h = T[T[o].r].h + 1;
28         return o;
29     }
30     void insert(int& x, int val, int v){
31         int o = newnode(T[0]);
32         T[o].val = val, T[o].x = v;
33         x = merge(x, o);
34     }
```

```

34     }
35 }
36 using namespace Leftist_Tree;
37 struct Edge{
38     int v, w, n;
39 }G[N], E[N];
40 int cnt, point[N], cnt1, point1[N];
41 void adde(int u, int v, int w = 0){
42     G[++cnt]=(Edge){v,w,point[u]},point[u]=cnt;
43     E[++cnt1]=(Edge){u,w,point1[v]},point1[v]=cnt1;
44 }
45 int n, m, Len;
46 void Ginit(){
47     cnt = cnt1 = 0;
48     fill(point,0,n+1);
49     fill(point1,0,n+1);
50 }
51 int vis[N];
52 int in[N], p[N];
53 int d[N];
54 void dij(int s){
55     priority_queue<pii> q;
56     d[s] = 0;
57     q.push(mp(0, s));
58     while(!q.empty()){
59         int u = q.top().se;
60         q.pop();
61         if(vis[u])continue;
62         vis[u] = 1;
63         for(int i = point1[u];i;i=E[i].n){
64             int v = E[i].v;
65             if(d[v]> d[u] + E[i].w){
66                 p[v] = u;
67                 d[v] = d[u] + E[i].w;
68                 q.push(mp(-d[v], v));
69             }
70         }
71     }
72 }
73
74 void dfs(int u){
75     if(vis[u])return;
76     vis[u] = 1;
77     if(p[u])Root[u] = Root[p[u]];
78     int flag = 1;
79     for(int i = point[u];i;i=G[i].n){
80         int v = G[i].v;
81         if(d[v] == infi)continue;
82         if(p[u] == v && d[u] == G[i].w + d[v] && flag){
83             flag = 0;
84             continue;
85         }
86         int val = d[v] - d[u] + G[i].w;
87         insert(Root[u], val, v);
88     }
89     for(int i = point1[u];i;i=E[i].n){
90         if(p[E[i].v] == u)dfs(E[i].v);
91     }
92 }
93
94 int kth(int s, int t, int k){
95     dij(t);
96     if(d[s] == infi){
97         return -1;
98     }
99     if(s != t)--k;
100     if(!k){
101         return -1;
102     }
103     fill(vis,0,n+1);
104     init();
105     Root[t] = 0;
106     dfs(t);
107     priority_queue<pii, vector<pii>, greater<pii>> q;
108     if(Root[s])q.push(mp(d[s] + T[Root[s]].val, Root[s]));
109     while(k--){
110         if(q.empty()){

```

```

111         return -1;
112     }
113     pii u = q.top();
114     q.pop();
115     if(!k){
116         return u.fi;
117     }
118     int x = T[u.se].l, y = T[u.se].r, v = T[u.se].x;
119     if(Root[v])q.push(mp(u.fi + T[Root[v]].val, Root[v]));
120     if(x)q.push(mp(u.fi + T[x].val - T[u.se].val, x));
121     if(y)q.push(mp(u.fi + T[y].val - T[u.se].val, y));
122 }
123 }
124
125 void solve(){
126     Ginit();
127     rep(i,1,n){
128         d[i] = inf;
129         vis[i] = 0;
130         p[i] = 0;
131     }
132     int s, t, k;
133     sc(s),sc(t),sc(k),sc(Len);
134     rep(i,1,m){
135         int u, v, c;
136         sc(u),sc(v),sc(c);
137         adde(u, v, c);
138     }
139     int res = kth(s,t,k);
140     if(res >= 0 && res <= Len)
141         printf("yareyaredawa\n");
142     else
143         printf("Whitesnake!\n");
144 }
145
146 int main(){
147     while(~scanf("%d%d", &n, &m))solve();
148     return 0;
149 }

```

spfa 费用流

```

1  /*
2      调用 minCostMaxflow(s,t,cost) 返回 s 到 t 的最大流,cost 保存费用
3      多组数据调用 Ginit()
4  */
5  struct E{
6      int v,n,F,f,cost;
7  }G[M];
8  int point[N],cnt;
9  int pre[N];
10 int dis[N];
11 bool vis[N];
12 void Ginit(){
13     cnt=1;
14     SET(point,0);
15 }
16 void addedge(int u,int v,int F,int cost){
17     G[++cnt]=(E){v,point[u],F,0,cost},point[u]=cnt;
18     G[++cnt]=(E){u,point[v],0,0,-cost},point[v]=cnt;
19 }
20 bool spfa(int s,int t){
21     queue<int>q;
22     SET(vis,0);
23     SET(pre,0);
24     rep(i,s,t)
25         dis[i]=inf;
26     dis[s]=0;
27     vis[s]=1;
28     q.push(s);
29     while(!q.empty()){
30         int u=q.front();q.pop();
31         vis[u]=0;
32         for(int i=point[u];i;i=G[i].n){
33             int v=G[i].v;

```

```

34         if(G[i].F>G[i].f&&dis[v]-dis[u]-G[i].cost>0){
35             dis[v]=dis[u]+G[i].cost;
36             pre[v]=i;
37             if(!vis[v]){
38                 vis[v]=1;
39                 q.push(v);
40             }
41         }
42     }
43 }
44 return pre[t];
45 }
46 int minCostMaxflow(int s,int t,int &cost){
47     int f=0;
48     cost=0;
49     while(spfa(s,t)){
50         int Min=infi;
51         for(int i=pre[t];i;i=pre[G[i^1].v]){
52             if(Min>G[i].F-G[i].f)
53                 Min=G[i].F-G[i].f;
54         }
55         for(int i=pre[t];i;i=pre[G[i^1].v]){
56             G[i].f+=Min;
57             G[i^1].f-=Min;
58             cost+=G[i].cost*Min;
59         }
60         f+=Min;
61     }
62     return f;
63 }

```

Tarjan 有向图强连通分量

```

1  /*
2     调用 SCC() 得到强连通分量, 调用 suodian() 缩点
3     belong[i] 为所在 scc 编号,sccnum 为 scc 数量
4     原图用 addedge, 存在 G, 缩点后的图用 addedge2, 存在 G1
5     多组数据时调用 Ginit()
6  */
7  int n, m;
8  int point[N], cnt;
9  int low[N], dfn[N], belong[N], Stack[N];
10 bool instack[N];
11 int dfsnow, Stop, sccnum, num[N];
12 struct E{
13     int u, v, n;
14 }G[M],G1[M];
15 void tarjan(int u){
16     int v;
17     dfn[u] = low[u] = ++dfsnow;
18     instack[u] = 1;
19     Stack[++Stop] = u;
20     for (int i = point[u];i;i = G[i].n){
21         v = G[i].v;
22         if (!dfn[v]){
23             tarjan(v);
24             low[u] = min(low[u], low[v]);
25         }
26         else
27             if (instack[v])
28                 low[u] = min(low[u], dfn[v]);
29     }
30     if (dfn[u] == low[u]){
31         sccnum++;
32         do{
33             v = Stack[Stop--];
34             instack[v] = 0;
35             belong[v] = sccnum;
36             num[sccnum]++;
37         }
38         while (v != u);
39     }
40 }
41 void Ginit(){
42     cnt = 0;

```

```
43         fill(point,0,n+1);
44     }
45     void SCC(){
46         Stop = sccnum = dfsnow = 0;
47         fill(dfn, 0, n+1);
48         rep(i,1,n)
49             if (!dfn[i])
50                 tarjan(i);
51     }
52     void addedge(int a, int b){
53         G[++cnt] = (E){a,b,point[a]}, point[a] = cnt;
54     }
55     void addedge2(int a, int b){
56         G1[++cnt] = (E){a,b,point[a]}, point[a] = cnt;
57     }
58     int degree[N];
59     void suodian(){
60         Ginit();
61         fill(degree,0 ,n+1);
62         rep(i,1,m)
63             if (belong[G[i].u] != belong[G[i].v]){
64                 addedge2(belong[G[i].u], belong[G[i].v]);
65                 degree[belong[G[i].v]]++;
66             }
67     }
68     /*
69     割点和桥
70     割点：删除后使图不连通
71     桥（割边）：删除后使图不连通
72     对图深度优先搜索，定义  $DFS(u)$  为  $u$  在搜索树（以下简称为树）中被遍历到的次序号。定义  $Low(u)$  为  $u$  或  $u$  的子树中能通过非树边追溯到的  $DFS$  序号最小的节点。
73      $Low(u)=Min\{DFS(u);DFS(v), (u,v) \text{ 为非树边}; Low(v), (u,v) \text{ 为树边}\}$ 
74     一个顶点  $u$  是割点，当且仅当满足（1）或（2）
75     （1） $u$  为树根，且  $u$  有多于一个子树。（2） $u$  不为树根，且满足存在  $(u,v)$  为树边，使得  $DFS(u) \leq Low(v)$ 。
76     一条无向边  $(u,v)$  是桥，当且仅当  $(u,v)$  为树边，且满足  $DFS(u) < Low(v)$ 。
77     */
```

割点割边及双联通分量

```
1  /// Tarjan 割点，割边和双联通分量
2  ///
3  /// 割点：删除后使原图（边）双联通分量增加的点
4  /// 割边：删除后是原图（边）双联通分量增加的边
5  ///
6  /// 基于如下定理：
7  /// 一个点是割点当且仅当：
8  ///     1. 这个点是搜索树的根，并且该根的子树超过一个。
9  ///     2. 这个点不是搜索树的根，且存在一个子节点，子节点不存在绕过其父节点返回其祖先的路径。
10 /// 一条边是割边当且仅当：
11 ///     1. 在搜索树上，这条边是树边，并且子节点不存在绕过其父节点返回其祖先的路径。
12 ///
13 /// 注意一个割点可能会被不止一个点双联通分量包含。
14 ///
15 /// 一个图按照点双联通分量缩边后是一条链。
16 /// 因而凡是搜索树中的横叉边，一定是连接一个双联通分量中的两点的边。
17 /// 因而使用横叉边更新 Low 值是正确的。
18 /// 每找到一个割点，将子树所有边出栈，它们属于同一个点双。
19 ///
20 /// 点双：至少两个环公用一条路。
21 /// 边双：至少两个环公用一个点。
22 ///
23 //////////////////////////////////////
24
25 /// dfs 编号 dfn 从 1 开始。
26 /// 块编号 bcnt 从 1 开始。
27
28 // AC 洛谷 P3388（无向图割点）
29
30 int n, m, bcnt;
31 int dfn[mxn], low[mxn], ft[mxn];
32 bool used[mxn], ins[mxn];
33 int dfx = 0;
34
35 int ans[mxn]; int anst = 0; // 存割点。
36
37 void Reset()
```



```

38 {
39     et = pool;
40     eg = dfx = anst = 0;
41     memset(used, 0, sizeof(bool) * (n + 1));
42 }
43
44 void DFS(int x, bool rt = true)
45 {
46     low[x] = dfn[x] = ++dfx;
47     used[x] = true;
48     int cut = 0;
49     foredges(e, x)
50     {
51         if(!used[e->in])
52         {
53             ft[e->in] = x;
54             DFS(e->in, false);
55             low[x] = min(low[x], low[e->in]);
56             if(low[e->in] >= dfn[x]) cut++;
57         }
58         else if(e->in != ft[x])
59         {
60             low[x] = min(low[x], dfn[e->in]);
61         }
62     }
63     if(cut > rt)
64     {
65         ans[anst++] = x; // 记录割点.
66     }
67 }
68
69
70
71 int main()
72 {
73     n = getint();
74     m = getint();
75     rep(i, 1, m)
76     {
77         int a = getint();
78         int b = getint();
79         addedge(a, b);
80         addedge(b, a);
81     }
82
83     rep(i, 1, n) if(!used[i]) DFS(i);
84
85     sort(ans, ans + anst);
86     printf("%d\n", anst);
87     rep(i, 0, anst-1) printf("%d ", ans[i]);
88 }
89
90 ///////////////////////////////////////////////////////////////////
91
92 /// dfs 编号 dfn 从 1 开始.
93 /// 点双编号从 1 开始.
94 /// 注意每条边只有一个方向会被标记. 未标记的边, 所属点双应该记为 0.
95
96 // AC HDU 3394 (无向图割边和点双)
97
98 const int mxn = 1e5 + 50; // 点数
99 const int mxm = 2e5 + 50; // 单向边数
100 struct edge { int in; edge* nxt; int blc; } pool[mxm]; edge* et = pool;
101 edge* eds[mxn];
102 void addedge(int a, int b) { et->blc = 0; et->in = b; et->nxt = eds[a]; eds[a] = et++; }
103 #define foredges(i,x) for(edge*i=eds[x]; i; i=i->nxt)
104
105 int n, m;
106 int dfn[mxn], low[mxn], ft[mxn];
107 bool used[mxn];
108 int dfx, anst;
109 stack<pair<int, edge*>> ek; int eg = 0; // eg : 点双数量.
110
111 void Reset()
112 {
113     et = pool;
114     eg = dfx = anst = 0;

```

```

115     memset(used, 0, sizeof(bool) * (n + 1));
116     memset(eds, 0, sizeof(edge*) * (n + 1));
117 }
118
119 void DFS(int x, bool rt = true)
120 {
121     low[x] = dfn[x] = ++dfx;
122     used[x] = true;
123     foredges(e, x) if(!used[e->in])
124     {
125         ek.push(make_pair(x, e)); // 树边.
126         ft[e->in] = x;
127         DFS(e->in, false);
128         low[x] = min(low[x], low[e->in]);
129         if(low[e->in] >= dfn[x])
130         {
131             if(low[e->in] > dfn[x])
132             {
133                 // 确认 e 是一条割边.
134                 anst++;
135             }
136
137             if(!ek.empty()) // 找到一个点双.
138             {
139                 eg++;
140                 while(!ek.empty())
141                 {
142                     // 确认 ek.top().second 是在点双内的边.
143                     ek.top().second->b1c = eg;
144                     int cur = ek.top().first; ek.pop();
145                     if(cur == x) break;
146                 }
147             }
148         }
149     }
150     else if(e->in != ft[x])
151     {
152         if(dfn[e->in] < dfn[x]) ek.push(make_pair(x, e)); // 返祖边. 无向图没有横叉边.
153         low[x] = min(low[x], dfn[e->in]);
154     }
155 }
156
157 int main()
158 {
159     while(true)
160     {
161         n = getint();
162         m = getint();
163         if(n == 0 && m == 0) break;
164         Reset();
165
166         rep(i, 0, m-1)
167         {
168             int a = getint();
169             int b = getint();
170             addedge(a, b);
171             addedge(b, a);
172         }
173
174         rep(i, 0, n-1) if(!used[i]) DFS(i);
175
176         int ansg = 0;
177         map<int, set<int>> cntp;
178         map<int, int> cnte;
179         rep(x, 0, n-1) foredges(e, x) if(e->b1c != 0)
180         {
181             if(cntp[e->b1c].empty() || cntp[e->b1c].find(x) == cntp[e->b1c].end())
182                 cntp[e->b1c].insert(x);
183             if(cntp[e->b1c].empty() || cntp[e->b1c].find(e->in) == cntp[e->b1c].end())
184                 cntp[e->b1c].insert(e->in);
185             cnte[e->b1c]++;
186         }
187         rep(i, 1, eg) { if((int)cntp[i].size() < cnte[i]) ansg += cnte[i]; }
188
189         printf("%d %d\n", anst, ansg);
190     }
191     return 0;

```

192 }

zkw 费用流

```
1  /*
2      调用 zkw(s,t,cost) 返回 s 到 t 的最大流,cost 保存费用
3      多组数据调用 Ginit()
4  */
5  struct E{
6      int v,n,F,f,c;
7  }G[M];
8  int point[N],cnt;
9  int dis[N];
10 bool vis[N];
11 void Ginit(){
12     cnt=1;
13     SET(point,0);
14 }
15 void addedge(int u,int v,int F,int cost){
16     G[++cnt]=(E){v,point[u],F,0,cost},point[u]=cnt;
17     G[++cnt]=(E){u,point[v],0,0,-cost},point[v]=cnt;
18 }
19 bool spfa(int s,int t){
20     queue<int>q;
21     SET(vis,0);
22     rep(i,s,t)
23         dis[i]=infi;
24     dis[s]=0;
25     vis[s]=1;
26     q.push(s);
27     while(!q.empty()){
28         int u=q.front();q.pop();
29         vis[u]=0;
30         for(int i=point[u];i;i=G[i].n){
31             int v=G[i].v;
32             if(G[i].F>G[i].f&&dis[v]-dis[u]-G[i].c>0){
33                 dis[v]=dis[u]+G[i].c;
34                 if(!vis[v]){
35                     vis[v]=1;
36                     q.push(v);
37                 }
38             }
39         }
40     }
41     return dis[t]!=infi;
42 }
43 bool mark[N];
44 int dfs(int u,int t,int f,int &ans){
45     mark[u]=1;
46     if(u==t)return f;
47     double w;
48     int used=0;
49     for(int i=point[u];i;i=G[i].n){
50         if(G[i].F>G[i].f&&mark[G[i].v]&&dis[u]+G[i].c-dis[G[i].v]==0){
51             w=dfs(G[i].v,t,min(G[i].F-G[i].f,f-used),ans);
52             G[i].f+=w;
53             G[i^1].f-=w;
54             ans+=G[i].c*w;
55             used+=w;
56             if(used==f)return f;
57         }
58     }
59     return used;
60 }
61 int zkw(int s,int t,int &ans){
62     int tmp=0;
63     ans=0;
64     while(spfa(s,t)){
65         mark[t]=1;
66         while(mark[t]){
67             SET(mark,0);
68             tmp+=dfs(s,t,infi,ans);
69         }
70     }
71     return tmp;
```

72 }

倍增 LCA

```

1  /*
2      调用 Lca_init() 后
3      调用 Lca(u,v) 得到 u,v 的 Lca
4  */
5  int fa[N][M];
6  void lca_init(){
7      rep(k,1,M-1)rep(i,1,n)
8          fa[i][k] = fa[fa[i][k-1]][k-1];
9  }
10 int lca(int u,int v){
11     if(dep[u] < dep[v])
12         swap(u, v);
13     repr(i,0,M-1)
14         if(((dep[u] - dep[v])>>i) & 1)
15             u = fa[u][i];
16     repr(i,0,M-1)
17         if(fa[u][i] != fa[v][i]){
18             u = fa[u][i];
19             v = fa[v][i];
20         }
21     if(u != v)
22         return fa[u][0];
23     return u;
24 }
```

虚树

```

1  /*
2      add(u,v) 表示虚树上建一条边 (u,v)
3  */
4  top=0;
5  s[++top]=1;
6  for(i=1;i<=m;i++){
7      grand=lca(s[top],q[i]);
8      while(1){
9          if(dep[s[top-1]]<=dep[grand]){
10             add(grand,s[top--]);
11             if(s[top]!=grand) s[++top]=grand;
12             break;
13         }
14         add(s[top-1],s[top]);top--;
15     }
16     if(s[top]!=q[i]) s[++top]=q[i];
17 }
18 while(--top>=1) add(s[top],s[top+1]);
```

点分治

```

1  int n, siz[N], maxs[N], r;
2  bitset<N> vis;
3  void getroot(int u, int f){
4      siz[u] = 1, maxs[u] = 0;
5      for (int i = point[u];i;i = G[i].n){
6          if (G[i].v == f || vis[G[i].v])continue;
7          getroot(G[i].v, u);
8          siz[u] += siz[G[i].v];
9          maxs[u] = max(maxs[u], siz[G[i].v]);
10     }
11     maxs[u] = max(maxs[u], n-siz[u]);
12     if (maxs[r] > maxs[u])
13         r = u;
14 }
15 queue<int> Q;
16 bitset<N> hh;
17 void bfs(int u){
18     hh.reset();
19     Q.push(u);
20     hh[u] = 1;
```

```

21     while (!Q.empty()){
22         int i = Q.front();Q.pop();
23         for (int p = point[i];p;p = G[p].n){
24             if (hh[G[p].v] || vis[G[p].v])continue;
25             Q.push(G[p].v);
26         }
27     }
28 }
29 int calc(int u){
30     int res(0);
31     bfs(u);
32     return res;
33 }
34 void solve(int u){
35     dis[u] = 0, vis[u] = 1;
36     ans += calc(u);
37     for (int i = point[u];i;i = G[i].n){
38         if (vis[G[i].v])continue;
39         dis[G[i].v] = G[i].w, ans -= calc(G[i].v);
40         n = siz[G[i].v];
41         maxs[r=0] = N, getroot(G[i].v, 0);
42         solve(r);
43     }
44 }
45 void p_d(){
46     vis.reset();
47     maxs[r=0]=n+1;
48     getroot(1, 0);
49     solve(r);
50 }

```

堆优化 dijkstra

```

1  /*
2     调用 Dijkstra(s) 得到从 s 出发的最短路, 存在 dist 中
3     多组数据时调用 Ginit()
4  */
5  struct qnode{
6      int v,c;
7      bool operator <(const qnode &r)const{
8          return c>r.c;
9      }
10 };
11 bool vis[N];
12 int dist[N];
13 void dij(int s){
14     fill(vis,0,n+1);
15     fill(dist,127,n+1);
16     dist[s]=0;
17     priority_queue<qnode> que;
18     while(!que.empty())que.pop();
19     que.push((qnode){s,0});
20     qnode tmp;
21     while(!que.empty()){
22         tmp=que.top();
23         que.pop();
24         int u=tmp.v;
25         if(vis[u])continue;
26         vis[u]=1;
27         for_each_edge(u){
28             int v = G[i].v;
29             if(!vis[v]&&dist[v]>dist[u]+G[i].w){
30                 dist[v]=dist[u]+G[i].w;
31                 que.push((qnode){v,dist[v]});
32             }
33         }
34     }
35 }

```

矩阵树定理

```

1  /*
2     矩阵树定理

```

```

3      令  $g$  为度数矩阵,  $a$  为邻接矩阵
4      生成树的个数为  $g-a$  的任何一个  $n-1$  阶主子式的行列式的绝对值
5       $\det(a, n)$  返回  $n$  阶矩阵  $a$  的行列式
6      所以直接调用  $\det(g-a, n-1)$  就得到答案
7       $O(n^3)$ 
8      有取模版和 double 版
9      无向图生成树的个数与根无关
10     有必选边时压缩边
11     有向图以  $i$  为根的树形图的数目 = 基尔霍夫矩阵去掉第  $i$  行和第  $i$  列的主子式的行列式的值 (即 Matrix-Tree 定理不仅适用于求无向图生成树数目, 也适用于求有向图
    ↔ 树形图数目)
12    */
13    int det(int a[N][N], int n){
14        rep(i, 1, n)
15            rep(j, 1, n)
16                a[i][j] = (a[i][j] + mod) % mod;
17        ll ans = 1, f = 1;
18        rep(i, 1, n){
19            rep(j, i + 1, n){
20                ll A = a[i][i], B = a[j][i];
21                while(B != 0){
22                    ll t = A / B; A %= B; swap(A, B);
23                    rep(k, i, n)
24                        a[i][k] = (a[i][k] - t * a[j][k] % mod + mod) % mod;
25                    rep(k, i, n)
26                        swap(a[i][k], a[j][k]);
27                    f = -f;
28                }
29            }
30            if(!a[i][i]) return 0;
31            ans = ans * a[i][i] % mod;
32        }
33        if(f == -1) return (mod - ans) % mod;
34        return ans;
35    }
36    double det(double a[N][N], int n){
37        int i, j, k, sign = 0;
38        double ret = 1, t;
39        for (i = 1; i <= n; i++)
40            for (j = 1; j <= n; j++)
41                b[i][j] = a[i][j];
42        for (i = 1; i <= n; i++) {
43            if (zero(b[i][i])) {
44                for (j = i + 1; j <= n; j++)
45                    if (!zero(b[j][i]))
46                        break;
47                if (j > n)
48                    return 0;
49                for (k = i; k <= n; k++)
50                    t = b[i][k], b[i][k] = b[j][k], b[j][k] = t;
51                sign++;
52            }
53            ret *= b[i][i];
54            for (k = i + 1; k <= n; k++)
55                b[i][k] /= b[i][i];
56            for (j = i + 1; j <= n; j++)
57                for (k = i + 1; k <= n; k++)
58                    b[j][k] -= b[j][i] * b[i][k];
59        }
60        if (sign & 1)
61            ret = -ret;
62        return ret;
63    }
64    /*
65    最小生成树计数
66    */
67    #define dinf 1e10
68    #define linf (LL)1<<60
69    #define LL long long
70    #define clr(a,b) memset(a,b,sizeof(a))
71    LL mod;
72    struct Edge{
73        int a,b,c;
74        bool operator<(const Edge & t)const{
75            return c<t.c;
76        }
77    }edge[M];
78    int n,m;

```

```

79 LL ans;
80 int fa[N],ka[N],vis[N];
81 LL gk[N][N],tmp[N][N];
82 vector<int>gra[N];
83 int findfa(int a,int b[]){return a==b[a]?a:b[a]=findfa(b[a],b);}
84 LL det(LL a[][N],int n){
85     for(int i=0;i<n;i++)for(int j=0;j<n;j++)a[i][j]%=mod;
86     long long ret=1;
87     for(int i=1;i<n;i++){
88         for(int j=i+1;j<n;j++){
89             while(a[j][i]){
90                 LL t=a[i][i]/a[j][i];
91                 for(int k=i;k<n;k++)
92                     a[i][k]=(a[i][k]-a[j][k]*t)%mod;
93                 for(int k=i;k<n;k++)
94                     swap(a[i][k],a[j][k]);
95                 ret=-ret;
96             }
97             if(a[i][i]==0)return 0;
98             ret=ret*a[i][i]%mod;
99             //ret%=mod;
100         }
101     }
102     return (ret+mod)%mod;
103 }
104 int main(){
105     while(scanf("%d%d%I64d",&n,&m,&mod)==3){
106         if(n==0 && m==0 && mod==0)break;
107         memset(gk,0,sizeof(gk));
108         memset(tmp,0,sizeof(tmp));
109         memset(fa,0,sizeof(fa));
110         memset(ka,0,sizeof(ka));
111         memset(tmp,0,sizeof(tmp));
112         for(int i=0;i<n;i++)gra[i].clear();
113         for(int i=0;i<m;i++){
114             scanf("%d%d%d",&edge[i].a,&edge[i].b,&edge[i].c);
115             sort(edge,edge+m);
116             for(int i=1;i<=n;i++)fa[i]=i,vis[i]=0;
117             int pre=-1;
118             ans=1;
119             for(int h=0;h<=m;h++){
120                 if(edge[h].c!=pre||h==m){
121                     for(int i=1;i<=n;i++){
122                         if(vis[i]){
123                             int u=findfa(i,ka);
124                             gra[u].push_back(i);
125                             vis[i]=0;
126                         }
127                     }
128                     for(int i=1;i<=n;i++){
129                         if(gra[i].size()>1){
130                             for(int a=1;a<=n;a++){
131                                 for(int b=1;b<=n;b++){
132                                     tmp[a][b]=0;
133                                 }
134                                 int len=gra[i].size();
135                                 for(int a=0;a<len;a++){
136                                     for(int b=a+1;b<len;b++){
137                                         int la=gra[i][a],lb=gra[i][b];
138                                         tmp[a][b]=(tmp[b][a]-gk[la][lb]);
139                                         tmp[a][a]+=gk[la][lb];tmp[b][b]+=gk[la][lb];
140                                     }
141                                 }
142                                 long long ret=(long long)det(tmp,len);
143                                 ret%=mod;
144                                 ans=(ans*ret%mod)%mod;
145                                 for(int a=0;a<len;a++)fa[gra[i][a]]=i;
146                             }
147                         }
148                     }
149                     for(int i=1;i<=n;i++){
150                         ka[i]=fa[i]=findfa(i,fa);
151                         gra[i].clear();
152                     }
153                     if(h==m)break;
154                     pre=edge[h].c;
155                 }
156             }
157             int a=edge[h].a,b=edge[h].b;
158             int pa=findfa(a,fa),pb=findfa(b,fa);
159             if(pa==pb)continue;
160             vis[pa]=vis[pb]=1;
161             ka[findfa(pa,ka)]=findfa(pb,ka);
162             gk[pa][pb]++;gk[pb][pa]++;

```

```

156         }
157         int flag=0;
158         for(int i=2;i<=n&&!flag;i++)if(ka[i]!=ka[i-1])flag=1;
159         ans%=mod;
160         printf("%I64d\n",flag?0:ans);
161     }
162     return 0;
163 }

```

平面欧几里得距离最小生成树

```

1  #define x first
2  #define y second
3  #define mp make_pair
4  #define pb push_back
5  using namespace std;
6  typedef long long LL;
7  typedef double ld;
8  const int MAX=400000+10;
9  const int NUM=20;
10 int n;
11 struct point{
12     LL x,y;
13     int num;
14     point(){}
15     point(LL a,LL b){
16         x=a;
17         y=b;
18     }
19 }d[MAX];
20 int operator < (const point& a,const point& b){
21     if(a.x!=b.x)return a.x<b.x;
22     else return a.y<b.y;
23 }
24 point operator - (const point& a,const point& b){
25     return point(a.x-b.x,a.y-b.y);
26 }
27 LL chaji(const point& s,const point& a,const point& b){
28     return (a.x-s.x)*(b.y-s.y)-(a.y-s.y)*(b.x-s.x);
29 }
30 LL dist(const point& a,const point& b){
31     return (a.x-b.x)*(a.x-b.x)+(b.y-a.y)*(b.y-a.y);
32 }
33 struct point3{
34     LL x,y,z;
35     point3(){}
36     point3(LL a,LL b,LL c){
37         x=a;
38         y=b;
39         z=c;
40     }
41     point3(point a){
42         x=a.x;
43         y=a.y;
44         z=x*x+y*y;
45     }
46 };
47 point3 operator - (const point3 a,const point3& b){
48     return point3(a.x-b.x,a.y-b.y,a.z-b.z);
49 }
50 point3 chaji(const point3& a,const point3& b){
51     return point3(a.y*b.z-a.z*b.y,-a.x*b.z+a.z*b.x,a.x*b.y-a.y*b.x);
52 }
53 LL dianji(const point3& a,const point3& b){
54     return a.x*b.x+a.y*b.y+a.z*b.z;
55 }
56 LL in_circle(point a,point b,point c,point d){
57     if(chaji(a,b,c)<0)
58         swap(b,c);
59     point3 aa(a),bb(b),cc(c),dd(d);
60     bb=bb-aa;cc=cc-aa;dd=dd-aa;
61     point3 f=chaji(bb,cc);
62     return dianji(dd,f);
63 }
64 struct Edge{

```



```

65     int t;
66     list<Edge>::iterator c;
67     Edge(){}
68     Edge(int v){
69         t=v;
70     }
71 };
72 list<Edge> ne[MAX];
73 void add(int a,int b){
74     ne[a].push_front(b);
75     ne[b].push_front(a);
76     ne[a].begin()->c=ne[b].begin();
77     ne[b].begin()->c=ne[a].begin();
78 }
79 int sign(LL a){
80     return a>0?1:(a==0?0:-1);
81 }
82 int cross(const point& a,const point& b,const point& c,const point& d){
83     return sign(chaji(a,c,b))*sign(chaji(a,b,d))>0 && sign(chaji(c,a,d))*sign(chaji(c,d,b))>0;
84 }
85 void work(int l,int r){
86     int i,j,nowl=l,nowr=r;
87     list<Edge>::iterator it;
88     if(l+2>=r){
89         for(i=l;i<=r;++i)
90             for(j=i+1;j<=r;++j)
91                 add(i,j);
92         return;
93     }
94     int mid=(l+r)/2;
95     work(l,mid);work(mid+1,r);
96     int flag=1;
97     for(;flag;){
98         flag=0;
99         point ll=d[nowl],rr=d[nowr];
100         for(it=ne[nowl].begin();it!=ne[nowl].end();++it){
101             point t=d[it->t];
102             LL s=chaji(rr,ll,t);
103             if(s>0 || ( s==0 && dist(rr,t)<dist(rr,ll) ) ){
104                 nowl=it->t;
105                 flag=1;
106                 break;
107             }
108         }
109         if(flag)
110             continue;
111         for(it=ne[nowr].begin();it!=ne[nowr].end();++it){
112             point t=d[it->t];
113             LL s=chaji(ll,rr,t);
114             if(s<0 || ( s==0 && dist(ll,rr)>dist(ll,t) ) ){
115                 nowr=it->t;
116                 flag=1;
117                 break;
118             }
119         }
120     }
121     add(nowl,nowr);
122     for(;1;){
123         flag=0;
124         int best=0,dir=0;
125         point ll=d[nowl],rr=d[nowr];
126         for(it=ne[nowl].begin();it!=ne[nowl].end();++it)
127             if(chaji(ll,rr,d[it->t])>0 && ( best==0 || in_circle(ll,rr,d[best],d[it->t])<0 ) )
128                 best=it->t,dir=-1;
129         for(it=ne[nowr].begin();it!=ne[nowr].end();++it)
130             if(chaji(rr,d[it->t],ll)>0 && ( best==0 || in_circle(ll,rr,d[best],d[it->t])<0 ) )
131                 best=it->t,dir=1;
132         if(!best)break;
133         if(dir==1){
134             for(it=ne[nowl].begin();it!=ne[nowl].end();){
135                 if(cross(ll,d[it->t],rr,d[best])){
136                     list<Edge>::iterator ij=it;
137                     ++ij;
138                     ne[it->t].erase(it->c);
139                     ne[nowl].erase(it);
140                     it=ij;
141                 }

```

```

142         else ++it;
143         nowl=best;
144     }
145     else if(dir==1){
146         for(it=ne[nowr].begin();it!=ne[nowr].end();){
147             if(cross(rr,d[it->t],ll,d[best])){
148                 list<Edge>::iterator ij=it;
149                 ++ij;
150                 ne[it->t].erase(it->c);
151                 ne[nowl].erase(it);
152                 it=ij;
153             }
154             else ++it;
155             nowr=best;
156         }
157         add(nowl,nowr);
158     }
159 }
160 struct MstEdge{
161     int x,y;
162     LL w;
163 }e[MAX];
164 int m;
165 int operator < (const MstEdge& a,const MstEdge& b){
166     return a.w<b.w;
167 }
168 int fa[MAX];
169 int findfather(int a){
170     return fa[a]==a?a:fa[a]=findfather(fa[a]);
171 }
172 int Hash[MAX],p[MAX/4][NUM],deep[MAX],place[MAX];
173 LL dd[MAX/4][NUM];
174 vector<int> ne2[MAX];
175 queue<int> q;
176 LL getans(int u,int v){
177     if(deep[u]<deep[v])
178         swap(u,v);
179     LL ans=0;
180     int s=NUM-1;
181     while(deep[u]>deep[v]){
182         while(s && deep[p[u][s]]<deep[v])--s;
183         ans=max(dd[u][s],ans);
184         u=p[u][s];
185     }
186     s=NUM-1;
187     while(u!=v){
188         while(s && p[u][s]==p[v][s])--s;
189         ans=max(dd[u][s],ans);
190         ans=max(dd[v][s],ans);
191         u=p[u][s];
192         v=p[v][s];
193     }
194     return ans;
195 }
196 int main(){
197     #ifndef ONLINE_JUDGE
198     freopen("input.txt","r",stdin);freopen("output.txt","w",stdout);
199     #endif
200     int i,j,u,v;
201     scanf("%d",&n);
202     for(i=1;i<=n;++i){
203         cin>>d[i].x>>d[i].y;
204         d[i].num=i;
205     }
206     sort(d+1,d+n+1);
207     for(i=1;i<=n;++i)
208         place[d[i].num]=i;
209     work(1,n);
210     for(i=1;i<=n;++i)
211         for(list<Edge>::iterator it=ne[i].begin();it!=ne[i].end();++it){
212             if(it->t<i)continue;
213             ++m;
214             e[m].x=i;
215             e[m].y=it->t;
216             e[m].w=dist(d[e[m].x],d[e[m].y]);
217         }
218     sort(e+1,e+m+1);

```

```

219     for(i=1;i<=n;++i)
220         fa[i]=i;
221     for(i=1;i<=m;++i)
222         if(findfather(e[i].x)!=findfather(e[i].y)){
223             fa[findfather(e[i].x)]=findfather(e[i].y);
224             ne2[e[i].x].pb(e[i].y);
225             ne2[e[i].y].pb(e[i].x);
226         }
227     q.push(1);
228     deep[1]=1;
229     Hash[1]=1;
230     while(!q.empty()){
231         u=q.front();q.pop();
232         for(i=0;i<(int)ne2[u].size();++i){
233             v=ne2[u][i];
234             if(!Hash[v]){
235                 Hash[v]=1;
236                 p[v][0]=u;
237                 dd[v][0]=dist(d[u],d[v]);
238                 deep[v]=deep[u]+1;
239                 q.push(v);
240             }
241         }
242     }
243     for(i=1;(1<<i)<=n;++i)
244         for(j=1;j<=n;++j){
245             p[j][i]=p[p[j][i-1]][i-1];
246             dd[j][i]=max(dd[j][i-1],dd[p[j][i-1]][i-1]);
247         }
248     int m;
249     scanf("%d",&m);
250     while(m--){
251         scanf("%d%d",&u,&v);
252         printf("%.10lf\n",sqrt((ld)getans(place[u],place[v])));
253     }
254     return 0;
255 }

```

最大流 Dinic

```

1  /*
2      调用 maxflow() 返回最大流
3      S,T 为源汇
4      addedge(u,v,f,F) F 为反向流量
5      多组数据时调用 Ginit()
6  */
7  struct E{
8      int v, f, F, n;
9  }G[M];
10 int point[N], D[N], cnt, S, T;
11 void Ginit(){
12     cnt = 1;
13     fill(point,0,T+1);
14 }
15 void addedge(int u, int v, int f, int F){
16     G[++cnt] = (E){v, 0, f, point[u]}, point[u] = cnt;
17     G[++cnt] = (E){u, 0, F, point[v]}, point[v] = cnt;
18 }
19 int BFS(){
20     queue<int> q;
21     fill(D,0,T+1);
22     q.push(S);
23     D[S] = 1;
24     while (!q.empty()){
25         int u = q.front();q.pop();
26         for_each_edge(u)
27             if (G[i].F > G[i].f){
28                 int v = G[i].v;
29                 if (!D[v]){
30                     D[v] = D[u] + 1;
31                     if(v==T)return D[T];
32                     q.push(v);
33                 }
34             }
35     }

```

```

36     return D[T];
37 }
38 int Dinic(int u, int F){
39     if (u == T)        return F;
40     int f = 0;
41     for_each_edge(u){
42         if(F<=f)break;
43         int v = G[i].v;
44         if (G[i].F > G[i].f && D[v] == D[u] + 1){
45             int temp = Dinic(v, min(F - f, G[i].F-G[i].f));
46             if (temp == 0)
47                 D[v] = 0;
48             else{
49                 f += temp;
50                 G[i].f += temp;
51                 G[i^1].f -= temp;
52             }
53         }
54     }
55     if(!f)D[u]=0;
56     return f;
57 }
58 int maxflow(){
59     int f = 0;
60     while (BFS())
61         f += Dinic(S, inf);
62     return f;
63 }
64 /*
65 最大权闭合子图
66     在一个有向无环图中，每个点都有一个权值。
67     现在需要选择一个子图，满足若一个点被选，其后继所有点也会被选。最大化选出的点权和。
68     建图方法：源向所有正权点连容量为权的边，所有负权点向汇点连容量为权的绝对值的边。若原图中存在有向边  $\langle u, v \rangle$ ，则从  $u$  向  $v$  连容量为正无穷的边。答案为所有正权点
↔ 和 - 最大流
69 最大权密度子图
70     在一个带点权带边权无向图中，选出一个子图，使得该子图的点权和与边权和的比值最大。
71     二分答案  $k$ ，问题转为最大化  $|V|-k|E|$ 
72     确定二元关系：如果一条边连接的两个点都被选择，则将获得该边的权值（可能需要处理负权）
73 二分图最小点权覆盖集
74     点覆盖集：在无向图  $G=(V,E)$  中，选出一个点集  $V'$ ，使得对于任意  $\langle u,v \rangle$  属于  $E$ ，都有  $u$  属于  $V'$  或  $v$  属于  $V'$ ，则称  $V'$  是无向图  $G$  的一个点覆盖集。
75     最小点覆盖集：在无向图中，包含点数最少的点覆盖集被称为最小点覆盖集。
76     这是一个 NPC 问题，但在二分图中可以用最大匹配模型快速解决。
77
78     最小点权覆盖集：在最小点覆盖集的基础上每个点均被赋上一个点权。
79     建模方法：对二分图进行黑白染色，源点向白点连容量为该点点权的边，黑点向汇点连容量为该点点权的边，对于无向边  $\langle u,v \rangle$ ，设  $u$  为白点，则从  $u$  向  $v$  连容量为正无穷
↔ 的边。最小割即为答案。
80 二分图最大点权独立集
81     点独立集：在无向图  $G=(V,E)$  中，选出一个点集  $V'$ ，使得对于任意  $u,v$  属于  $V'$ ， $\langle u,v \rangle$  不属于  $E'$ ，则称  $V'$  是无向图  $G$  的一个点独立集。
82     最大点独立集：在无向图中，包含点数最多的点独立集被称为最大点独立集。
83     / 最大独立集 / =  $|V|$  - / 最大匹配数 /
84     这是一个 NPC 问题，但在二分图中可以用最大匹配模型快速解决。
85     最大点权独立集：在最大点独立集的基础上每个点均被赋上一个点权。
86     建模方法：对二分图进行黑白染色，源点向白点连容量为该点点权的边，黑点向汇点连容量为该点点权的边，对于无向边  $\langle u,v \rangle$ ，设  $u$  为白点，则从  $u$  向  $v$  连容量为正无穷
↔ 的边。所有点权-最小割即为答案。
87 最小路径覆盖
88     在一个 DAG 中，用尽量少的不相交的简单路径覆盖所有的节点。
89     最小路径覆盖数 = 点数 - 路径中的边数
90     建立一个二分图，把原图中的所有节点分成两份 ( $X$  集合为  $i$ ， $Y$  集合为  $i'$ )，如果原来图中有  $i \rightarrow j$  的有向边，则在二分图中建立  $i \rightarrow j'$  的有向边。最终 / 最小路径覆盖
↔  $|V|$  - / 最大匹配数 /
91
92 无源汇可行流
93     建图方法：
94     首先建立附加源点  $ss$  和附加汇点  $tt$ ，对于原图中的边  $x \rightarrow y$ ，若限制为  $[b,c]$ ，那么连边  $x \rightarrow y$ ，流量为  $c-b$ ，对于原图中的某一个点  $i$ ，记  $d(i)$  为流入这个点的所有边
↔ 的下界和减去流出这个点的所有边的下界和
95     若  $d(i) > 0$ ，那么连边  $ss \rightarrow i$ ，流量为  $d(i)$ ，若  $d(i) < 0$ ，那么连边  $i \rightarrow tt$ ，流量为  $-d(i)$ 
96     求解方法：
97         在新图上跑  $ss$  到  $tt$  的最大流，若新图满流，那么一定存在一种可行流，此时，原图中每一条边的流量应为新图中对应的边的流量 + 这条边的流量下界
98 有源汇可行流
99     建图方法：在原图中添加一条边  $t \rightarrow s$ ，流量限制为  $[0, inf]$ ，即让源点和汇点也满足流量平衡条件，这样就改造成了无源汇的网络流图，其余方法同上
100     求解方法：同 无源汇可行流
101 有源汇最大流
102     建图方法：同有源汇可行流
103     求解方法：在新图上跑  $ss$  到  $tt$  的最大流，若新图满流，那么一定存在一种可行流，记此时  $\sigma f(s,i)=sum1$ ，将  $t \rightarrow s$  这条边拆掉，在新图上跑  $s$  到  $t$  的最大流，
↔ 记此时  $\sigma f(s,i)=sum2$ ，最终答案即为  $sum1+sum2$ 
104 有源汇最小流
105     建图方法：同 无源汇可行流
106     求解方法：求  $ss \rightarrow tt$  最大流，连边  $t \rightarrow s, inf$ ，求  $ss \rightarrow tt$  最大流，答案即为边  $t \rightarrow s, inf$  的实际流量

```

107 有源汇费用流

108 建图方法：首先建立附加源点 ss 和附加汇点 tt ，对于原图中的边 $x \rightarrow y$ ，若限制为 $[b, c]$ ，费用为 $cost$ ，那么连边 $x \rightarrow y$ ，流量为 $c - b$ ，费用为 $cost$ ，对于原图中的某一个点 i ，记 $d(i)$ 为流入这个点的所有边的下界和减去流出这个点的所有边的下界和，若 $d(i) > 0$ ，那么连边 $ss \rightarrow i$ ，流量为 $d(i)$ ，费用为 0 ，若 $d(i) < 0$ ，那么连边 $i \rightarrow tt$ ，流量为 $-d(i)$ ，费用为 0 ，连边 $t \rightarrow s$ ，流量为 inf ，费用为 0

109 求解方法：跑 $ss \rightarrow tt$ 的最小费用最大流，答案即为（求出的费用 + 原图中边的下界 * 边的费用）

110 注意：有上下界的费用流指的是在满足流量限制条件和流量平衡条件的情况下的最小费用流，而不是在满足流量限制条件和流量平衡条件并且满足最大流的情况下的最小费用流，也就是说，有上下界的费用流只需要满足网络流的条件就可以了，而普通的费用流是满足一般条件并且满足是最大流的基础上的最小费用 */

KM(bfs)

```

1  #include <bits/stdc++.h>
2  using namespace std;
3  #define LL long long
4  const LL N = 222;
5  const LL inf = 0x3f3f3f3f3f3f3f3f;
6  LL n;
7  LL val[N][N];
8  LL lx[N], ly[N];
9  LL linky[N];
10 LL pre[N];
11 bool vis[N];
12 bool visx[N], visy[N];
13 LL slack[N];
14
15 void bfs(LL k){
16     LL px, py = 0, yy = 0, d;
17     memset(pre, 0, sizeof(LL) * (n+2));
18     memset(slack, inf, sizeof(LL) * (n+2));
19     linky[py]=k;
20     do{
21         px = linky[py], d = inf, vis[py] = 1;
22         for(LL i = 1; i <= n; i++){
23             if(!vis[i]){
24                 if(slack[i] > lx[px] + ly[i] - val[px][i])
25                     slack[i] = lx[px] + ly[i] - val[px][i], pre[i]=py;
26                 if(slack[i]<d) d=slack[i],yy=i;
27             }
28         }
29         for(LL i = 0; i <= n; i++)
30             if(vis[i]) lx[linky[i]] -= d, ly[i] += d;
31         else slack[i] -= d;
32         py = yy;
33     }while(linky[py]);
34     while(py) linky[py] = linky[pre[py]], py=pre[py];
35 }
36
37 LL KM(){
38     memset(lx, 0, sizeof(LL)*(n+2));
39     memset(ly, 0, sizeof(LL)*(n+2));
40     memset(linky, 0, sizeof(LL)*(n+2));
41     for(LL i = 1; i <= n; i++)
42         memset(vis, 0, sizeof(bool)*(n+2)), bfs(i);
43     LL ans = 0;
44     for(LL i = 1; i <= n; ++i)
45         ans += lx[i] + ly[i];
46     return ans;
47 }
48
49 int main()
50 {
51     LL T;
52     scanf("%lld",&T);
53     LL cas=0;
54     while(T--){
55         scanf("%lld",&n);
56         for(LL i=1;i<=n;i++)
57             for(LL j=1;j<=n;j++)
58                 scanf("%lld",&val[i][j]),val[i][j]=-val[i][j];
59         printf("Case #%lld: %lld\n",++cas,-KM());
60     }
61     return 0;
62 }

```

最大团

```

1  /*
2  用二维 bool 数组 a[][] 保存邻接矩阵，下标 0~n-1

```

```

3      建图:MaxClique G = MaxClique(a, n)
4      求最大团:mcqdyn(保存最大团中点的数组, 保存最大团中点数的变量)
5  */
6  typedef bool BB[N];
7  struct MaxClique {
8      const BB* e; int pk, level; const float Tlimit;
9      struct Vertex{ int i, d; Vertex(int i):i(i),d(0){} };
10     typedef vector<Vertex> Vertices; typedef vector<int> ColorClass;
11     Vertices V; vector<ColorClass> C; ColorClass QMAX, Q;
12     static bool desc_degree(const Vertex &vi, const Vertex &vj){
13         return vi.d > vj.d;
14     }
15     void init_colors(Vertices &v){
16         const int max_degree = v[0].d;
17         for(int i = 0; i < (int)v.size(); i++) v[i].d = min(i, max_degree) + 1;
18     }
19     void set_degrees(Vertices &v){
20         for(int i = 0, j; i < (int)v.size(); i++)
21             for(v[i].d = j = 0; j < int(v.size()); j++)
22                 v[i].d += e[v[i].i][v[j].i];
23     }
24     struct StepCount{ int i1, i2; StepCount():i1(0),i2(0){} };
25     vector<StepCount> S;
26     bool cut1(const int pi, const ColorClass &A){
27         for(int i = 0; i < (int)A.size(); i++) if (e[pi][A[i]]) return true;
28         return false;
29     }
30     void cut2(const Vertices &A, Vertices &B){
31         for(int i = 0; i < (int)A.size() - 1; i++)
32             if(e[A.back().i][A[i].i])
33                 B.push_back(A[i].i);
34     }
35     void color_sort(Vertices &R){
36         int j = 0, maxno = 1, min_k = max((int)QMAX.size() - (int)Q.size() + 1, 1);
37         C[1].clear(), C[2].clear();
38         for(int i = 0; i < (int)R.size(); i++) {
39             int pi = R[i].i, k = 1;
40             while(cut1(pi, C[k])) k++;
41             if(k > maxno) maxno = k, C[maxno + 1].clear();
42             C[k].push_back(pi);
43             if(k < min_k) R[j++].i = pi;
44         }
45         if(j > 0) R[j - 1].d = 0;
46         for(int k = min_k; k <= maxno; k++)
47             for(int i = 0; i < (int)C[k].size(); i++)
48                 R[j].i = C[k][i], R[j++].d = k;
49     }
50     void expand_dyn(Vertices &R){// diff -> diff with no dyn
51         S[level].i1 = S[level].i1 + S[level - 1].i1 - S[level].i2;//diff
52         S[level].i2 = S[level - 1].i1;//diff
53         while((int)R.size()) {
54             if((int)Q.size() + R.back().d > (int)QMAX.size()){
55                 Q.push_back(R.back().i); Vertices Rp; cut2(R, Rp);
56                 if((int)Rp.size()){
57                     if((float)S[level].i1 / ++pk < Tlimit) degree_sort(Rp);//diff
58                     color_sort(Rp);
59                     S[level].i1++, level++;//diff
60                     expand_dyn(Rp);
61                     level--;//diff
62                 }
63                 else if((int)Q.size() > (int)QMAX.size()) QMAX = Q;
64                 Q.pop_back();
65             }
66             else return;
67             R.pop_back();
68         }
69     }
70     void mcqdyn(int* maxclique, int &sz){
71         set_degrees(V); sort(V.begin(),V.end(), desc_degree); init_colors(V);
72         for(int i = 0; i < (int)V.size() + 1; i++) S[i].i1 = S[i].i2 = 0;
73         expand_dyn(V); sz = (int)QMAX.size();
74         for(int i = 0; i < (int)QMAX.size(); i++) maxclique[i] = QMAX[i];
75     }
76     void degree_sort(Vertices &R){
77         set_degrees(R); sort(R.begin(), R.end(), desc_degree);
78     }
79     MaxClique(const BB* conn, const int sz, const float tt = 0.025) \

```

```

80         : pk(0), level(1), Tlimit(tt){
81             for(int i = 0; i < sz; i++) V.push_back(Vertex(i));
82             e = conn, C.resize(sz + 1), S.resize(sz + 1);
83         }
84     };

```

最小度限制生成树

```

1  /*
2      只限制一个点的度数
3  */
4  #define CL(arr, val)    memset(arr, val, sizeof(arr))
5  #define REP(i, n)      for((i) = 0; (i) < (n); ++(i))
6  #define FOR(i, L, h)   for((i) = (L); (i) <= (h); ++(i))
7  #define FORD(i, h, L)  for((i) = (h); (i) >= (L); --(i))
8  #define L(x)           (x) << 1
9  #define R(x)           (x) << 1 | 1
10 #define MID(L, r)      (L + r) >> 1
11 #define Min(x, y)      x < y ? x : y
12 #define Max(x, y)      x < y ? y : x
13 #define E(x)           (1 << (x))
14 const double eps = 1e-8;
15 typedef long long LL;
16 using namespace std;
17 const int inf = ~0u>>2;
18 const int N = 33;
19 int parent[N];
20 int g[N][N];
21 bool flag[N][N];
22 map<string, int> NUM;
23 int n, k, cnt, ans;
24 struct node {
25     int x;
26     int y;
27     int v;
28 } a[1<<10];
29 struct edge {
30     int x;
31     int y;
32     int v;
33 } dp[N];
34 bool cmp(node a, node b) {
35     return a.v < b.v;
36 }
37 int find(int x) {    //并查集查找
38     int k, j, r;
39     r = x;
40     while(r != parent[r]) r = parent[r];
41     k = x;
42     while(k != r) {
43         j = parent[k];
44         parent[k] = r;
45         k = j;
46     }
47     return r;
48 }
49 int get_num(string s) {    //求编号
50     if(NUM.find(s) == NUM.end()) {
51         NUM[s] = ++cnt;
52     }
53     return NUM[s];
54 }
55 void kruskal() {    //...
56     int i;
57     FOR(i, 1, n) {
58         if(a[i].x == 1 || a[i].y == 1) continue;
59         int x = find(a[i].x);
60         int y = find(a[i].y);
61         if(x == y) continue;
62         flag[a[i].x][a[i].y] = flag[a[i].y][a[i].x] = true;
63         parent[y] = x;
64         ans += a[i].v;
65     }
66     //printf("%d\n", ans);
67 }

```

```

68 void dfs(int x, int pre) { //dfs 求 1 到某节点路程上的最大值
69     int i;
70     FOR(i, 2, cnt) {
71         if(i != pre && flag[x][i]) {
72             if(dp[i].v == -1) {
73                 if(dp[x].v > g[x][i]) dp[i] = dp[x];
74                 else {
75                     dp[i].v = g[x][i];
76                     dp[i].x = x; //记录这条边
77                     dp[i].y = i;
78                 }
79             }
80             dfs(i, x);
81         }
82     }
83 }
84 void init() {
85     ans = 0; cnt = 1;
86     CL(flag, false);
87     CL(g, -1);
88     NUM["Park"] = 1;
89     for(int i = 0; i < N; ++i) parent[i] = i;
90 }
91 int main() {
92     //freopen("data.in", "r", stdin);
93     int i, j, v;
94     string s;
95     scanf("%d", &n);
96     init();
97     for(i = 1; i <= n; ++i) {
98         cin >> s;
99         a[i].x = get_num(s);
100        cin >> s;
101        a[i].y = get_num(s);
102        scanf("%d", &v);
103        a[i].v = v;
104        if(g[a[i].x][a[i].y] == -1) g[a[i].x][a[i].y] = g[a[i].y][a[i].x] = v;
105        else g[a[i].x][a[i].y] = g[a[i].y][a[i].x] = min(g[a[i].x][a[i].y], v);
106    }
107    scanf("%d", &k);
108    int set[N], Min[N];
109    REP(i, N) Min[i] = inf;
110    sort(a + 1, a + n + 1, cmp);
111    kruskal();
112    FOR(i, 2, cnt) { //找到 1 到其他连通块的最小值
113        if(g[1][i] != -1) {
114            int x = find(i);
115            if(Min[x] > g[1][i]) {
116                Min[x] = g[1][i];
117                set[x] = i;
118            }
119        }
120    }
121    int m = 0;
122    FOR(i, 1, cnt) { //把 1 跟这些连通块连接起来
123        if(Min[i] != inf) {
124            m++;
125            flag[1][set[i]] = flag[set[i]][1] = true;
126            ans += g[1][set[i]];
127        }
128    }
129    //printf("%d\n", ans);
130    for(i = m + 1; i <= k; ++i) { //从度为 m+1 一直枚举到最大为 k, 找 ans 的最小值
131        CL(dp, -1);
132        dp[1].v = -inf; //dp 初始化
133        for(j = 2; j <= cnt; ++j) {
134            if(flag[1][j]) dp[j].v = -inf;
135        }
136        dfs(1, -1);
137        int tmp, mi = inf;
138        for(j = 2; j <= cnt; ++j) {
139            if(g[1][j] != -1) {
140                if(mi > g[1][j] - dp[j].v) { //找到一条 dp 到连通块中某个点的边, 替换原来连通块中的边 (前提是新找到的这条边比原来连通块中那条边要大)
141                    mi = g[1][j] - dp[j].v;
142                    tmp = j;
143                }
144            }

```



```
145     }
146     if(mi >= 0) break;    //如果不存在这样的边，直接退出
147     int x = dp[tmp].x, y = dp[tmp].y;
148     flag[1][tmp] = flag[tmp][1] = true;    //加上新找的边
149     flag[x][y] = flag[y][x] = false;    //删掉被替换掉的那条边
150     ans += mi;
151 }
152 printf("Total miles driven: %d\n", ans);
153 return 0;
154 }
```

最优比率生成树

```
1  #define mod 1000000009
2  #define inf 1000000000
3  #define eps 1e-8
4  using namespace std;
5  int n,cnt;
6  int x[1005],y[1005],z[1005],last[1005];
7  double d[1005],mp[1005][1005],ans;
8  bool vis[1005];
9  void prim(){
10     for(int i=1;i<=n;i++){
11         d[i]=inf;vis[i]=0;
12     }
13     d[1]=0;
14     for(int i=1;i<=n;i++){
15         int now=0;d[now]=inf;
16         for(int j=1;j<=n;j++)if(d[j]<d[now]&&!vis[j])now=j;
17         ans+=d[now];vis[now]=1;
18         for(int j=1;j<=n;j++)
19             if(mp[now][j]<d[j]&&!vis[j])
20                 d[j]=mp[now][j];
21     }
22 }
23 double sqr(double x){
24     return x*x;
25 }
26 double dis(int a,int b){
27     return sqrt(sqr(x[a]-x[b])+sqr(y[a]-y[b]));
28 }
29 void cal(double mid){
30     ans=0;
31     for(int i=1;i<=n;i++)
32         for(int j=i+1;j<=n;j++)
33             mp[i][j]=mp[j][i]=abs(z[i]-z[j])-mid*dis(i,j);
34     prim();
35 }
36 int main(){
37     while(scanf("%d",&n)){
38         if(n==0)break;
39         for(int i=1;i<=n;i++)
40             scanf("%d%d%d",&x[i],&y[i],&z[i]);
41         double l=0,r=1000;
42         for(int i=1;i<=30;i++){
43             double mid=(l+r)/2;
44             cal(mid);
45             if(ans<0)r=mid;
46             else l=mid;
47         }
48         printf("%.3f\n",l);
49     }
50     return 0;
51 }
```

欧拉路径覆盖

```
1  /// 无向图的最少欧拉路径覆盖
2  ///  $mxn$  : 点数.
3  ///  $mxm$  : 边数.
4  /// 最终结果存在  $ls$  中，代表边的编号.
5  /// 初始化：直接将图和结果链表清除即可.
6
7  //  $et = pool$ ;
```

```

8 // memset(eds, 0, sizeof(edge*) * (n + 1));
9 // ls.clear();
10
11 /// AC HDU 6311
12
13 //////////////////////////////////////
14
15 typedef list<edge*>::iterator iter;
16
17 const int mxn = 1e5 + 50;
18 const int mxm = 1e5 + 50;
19 struct edge { int id; int in; edge* nxt; bool used; } pool[mxm * 2]; edge* et = pool;
20 edge* opp(edge* t) { int x = (int)(t - pool); if(x & 1) return t - 1; return t + 1; }
21 edge* eds[mxn]; // 注意这一数组在运算时可能改变。需要原图的话应做备份。
22 void addedge(int a, int b, int id)
23 {
24     et->used = false; et->id = id; et->in = b; et->nxt = eds[a]; eds[a] = et++;
25     et->used = false; et->id = -id; et->in = a; et->nxt = eds[b]; eds[b] = et++;
26 }
27 int n, m;
28 int deg[mxn]; //度数。
29 list<edge*> ls;
30 iter pos[mxn];
31 bool inq[mxn];
32 queue<int> q;
33 int stk[mxn]; int st = 0;
34 // 走一条路，清除路上的边。
35 // 如果起点是奇数度，最终会走到另一个度数为奇数的点。
36 // 如果起点是偶数度，最终会走回起点。
37 void Reduce(int x, iter loc)
38 {
39     stk[st++] = x;
40     while(true)
41     {
42         while(eds[x] && eds[x]->used) eds[x] = eds[x]->nxt;
43         if(!eds[x]) break;
44         edge* e = eds[x];
45         opp(e)->used = true;
46         e->used = true;
47         deg[x]--;
48         deg[e->in]--;
49         pos[x] = ls.insert(loc, e);
50         x = stk[st++] = e->in;
51     }
52     repr(i, 0, st-1) if(deg[stk[i]] != 0 && !inq[stk[i]])
53     {
54         q.push(stk[i]);
55         inq[stk[i]] = true;
56     }
57     st = 0;
58 }
59 // 使用欧拉路清除同一个连通分量内部的边。
60 void ReduceIteration()
61 {
62     while(!q.empty())
63     {
64         int x = q.front(); q.pop(); inq[x] = false;
65         if(deg[x] & 1)
66         {
67             Reduce(x, ls.end());
68             ls.insert(ls.end(), nullptr);
69         }
70         else if(deg[x] != 0) Reduce(x, pos[x]);
71     }
72 }
73
74 .....
75
76 {
77     // 读入数据。
78     rep(i, 1, m)
79     {
80         int a = getint();
81         int b = getint();
82         deg[a]++;
83         deg[b]++;
84         addedge(a, b, i);

```

```
85     }
86
87     // 初始化.
88     rep(i, 1, n) pos[i] = ls.end();
89
90     // 先清除所有奇数度节点所在联通块.
91     rep(i, 1, n) if(deg[i] & 1) q.push(i);
92     ReduceIteration();
93
94     // 清除所有仅包含偶数度节点的联通块.
95     rep(i, 1, n) if(deg[i] != 0)
96     {
97         q.push(i);
98         inq[i] = true;
99         ReduceIteration();
100         ls.insert(ls.end(), nullptr);
101     }
102 }
```

数学

常见积性函数

单位函数 $e(x) = \begin{cases} 1, x = 1 \\ 0, x > 1 \end{cases}$

常函数 $I(x) = 1$

幂函数 $id(x) = x^k$

欧拉函数 $\varphi(x) = x \prod_{p|x} (1 - \frac{1}{p})$
 $n \geq 2$ 时 $\varphi(n)$ 为偶数

莫比乌斯函数 $\mu(x) = \begin{cases} 1, x = 1 \\ (-1)^k, x = p_1p_2...p_k \\ 0, others \end{cases}$

$\sigma_k(n) = \sum_{d|n} d^k$
 $\sigma_k(n) = \prod_{i=1}^{num} \frac{(p_i^{a_i+1})^k - 1}{p_i^k - 1}$

常用公式

$\sum_{d|n} \varphi(d) = n \rightarrow \varphi(n) = n - \sum_{d|n, d < n} \varphi(d)$

$[n = 1] = \sum_{d|n} \mu(d)$ 排列组合后二项式定理转换即可证明

$n = \sum_{d|n} \varphi(d)$ 将 $\frac{i}{n} (1 \leq i \leq n)$ 化为最简分数统计个数即可证明

狄利克雷卷积

$h(n) = \sum_{d|n} f(d)g(\frac{n}{d})$ 称为 f 和 g 的狄利克雷卷积，也可以理解为 $h(n) = \sum_{i,j=n} f(i)g(j)$

两个积性函数的狄利克雷卷积仍为积性函数

狄利克雷卷积满足交换律和结合律

莫比乌斯反演

$f(n) = \sum_{d|n} g(d) \Rightarrow g(n) = \sum_{d|n} \mu(d) * f(\frac{n}{d})$

即 $f = g * I \Leftrightarrow g = \mu * f$

$\mu * I = e$

$f = g * I \Rightarrow \mu * f = g * (\mu * I) = g * e = g$

$g = \mu * f \Rightarrow f = g * I$

$F(n) = \sum_{n|d} f(d) \Rightarrow f(n) = \sum_{n|d} \mu(\frac{n}{d}) * F(d)$

$f(n) = \sum_{d|n} \phi(d) \Rightarrow \phi(n) = \sum_{d|n} \mu(d)f(\frac{n}{d}) = \sum_{d|n} \mu(d)\frac{n}{d}$

常用等式

$$\varphi = \mu * id$$
$$\varphi * I = id$$
$$\sum_{d|N} \phi(d) = N$$
$$\sum_{i \leq N} i * [(i, N) = 1] = \frac{N * \phi(N)}{2}$$
$$\sum_{d|N} \frac{\mu(d)}{d} = \frac{\phi(N)}{N}$$

常用代换

$$\sum_{d|N} \mu(d) = [N = 1]$$

考虑每个数的贡献

$$\sum_{i \leq N} \lfloor \frac{N}{i} \rfloor = \sum_{i \leq N} d(i)$$

Pell 方程

形如 $x^2 - dy^2 = 1$ 的方程

当 d 为完全平方数时无解

假设 (x_0, y_0) 为最小正整数解

$$x_n = x_{n-1} \times x_0 + d \times y_{n-1} \times y_0$$

$$y_n = x_{n-1} \times y_0 + y_{n-1} \times x_0$$

SG 函数

```
1  #define MAX 150 //最大的步数
2  int step[MAX], sg[10500], steps; //使用前应将 sg 初始化为-1
3  //step: 所有可能的步数, 要求从小到大排序
4  //steps:step 的大小
5  //sg: 存储 sg 的值
6  int getsg(int m){
7      int hashes[MAX] = {0};
8      int i;
9      for (i = 0; i < steps; i++){
10         if (m - step[i] < 0) {
11             break;
12         }
13         if (sg[m - step[i]] == -1) {
14             sg[m - step[i]] = getsg(m - step[i]);
15         }
16         hashes[sg[m - step[i]]] = 1;
17     }
18     for (i = 0;; i++) {
19         if (hashes[i] == 0) {
20             return i;
21         }
22     }
23 }
24
25 /*
26 Array(存储可以走的步数, Array[0] 表示可以有多少种走法)
27 Array[] 需要从小到大排序
28 1. 可选步数为 1-m 的连续整数, 直接取模即可, SG(x)=x%(m+1);
29 2. 可选步数为任意步, SG(x) = x;
30 3. 可选步数为一系列不连续的数, 用 GetSG(计算)
31 */
32 //获取 sg 表
33 int SG[MAX], hashes[MAX];
34
35 void init(int Array[], int n){
36     int i, j;
37     memset(SG, 0, sizeof(SG));
38     for (i = 0; i <= n; i++){
39         memset(hashes, 0, sizeof(hashes));
40         for (j = 1; j <= Array[0]; j++){
41             if (i < Array[j]) {
42                 break;
43             }
44             hashes[SG[i - Array[j]]] = 1;
45         }
46     }
```

```
46     for (j = 0; j <= n; j++){
47         if (hashs[j] == 0){
48             SG[i] = j;
49             break;
50         }
51     }
52 }
53 }
```

矩阵乘法快速幂

```
1  /*
2     MATN 为矩阵大小
3     MOD 为模数
4     调用 pamt(a,k) 返回 a^k
5  */
6  struct mat{
7      int c[MATN][MATN];
8      mat(){SET(c,0);}
9  };
10 mat cheng(const mat &a, const mat &b){
11     mat w = mat();
12     rep(i,0,MATN-1)rep(j,0,MATN-1)rep(k,0,MATN-1){
13         w.c[i][j] += (ll)a.c[i][k] * b.c[k][j] % MOD;
14         if(w.c[i][j]>=MOD)w.c[i][j]-=MOD;
15     }
16     return w;
17 }
18 mat pmat(mat a, ll k){
19     mat i = mat();
20     rep(j,0,MATN-1)
21         i.c[j][j] = 1;
22     if(k<0)return i;
23     while(k){
24         if(k&1)
25             i=cheng(i,a);
26         a=cheng(a,a);
27         k>>=1;
28     }
29     return i;
30 }
```

线性规划

```
1  //求 max{cx|Ax<=b,x>=0} 的解
2  typedef vector<double> VD;
3  VD simplex(vector<VD> A, VD b, VD c) {
4      int n = A.size(), m = A[0].size() + 1, r = n, s = m - 1;
5      vector<VD> D(n + 2, VD(m + 1, 0)); vector<int> ix(n + m);
6      for (int i = 0; i < n + m; ++ i) ix[i] = i;
7      for (int i = 0; i < n; ++ i) {
8          for (int j = 0; j < m - 1; ++ j) D[i][j] = -A[i][j];
9          D[i][m - 1] = 1; D[i][m] = b[i];
10         if (D[r][m] > D[i][m]) r = i;
11     }
12     for (int j = 0; j < m - 1; ++ j) D[n][j] = c[j];
13     D[n + 1][m - 1] = -1;
14     for (double d; ; ) {
15         if (r < n) {
16             int t = ix[s]; ix[s] = ix[r + m]; ix[r + m] = t;
17             D[r][s] = 1.0 / D[r][s]; vector<int> speedUp;
18             for (int j = 0; j <= m; ++ j) if (j != s) {
19                 D[r][j] *= -D[r][s];
20                 if(D[r][j]) speedUp.push_back(j);
21             }
22             for (int i = 0; i <= n + 1; ++ i) if (i != r) {
23                 for(int j = 0; j < speedUp.size(); ++ j)
24                     D[i][speedUp[j]] += D[r][speedUp[j]] * D[i][s];
25                 D[i][s] *= D[r][s];
26             } r = -1; s = -1;
27         } for (int j = 0; j < m; ++ j) if (s < 0 || ix[s] > ix[j])
28             if (D[n + 1][j] > EPS || (D[n + 1][j] > -EPS && D[n][j] > EPS)) s = j;
29         if (s < 0) break;
30         for (int i = 0; i < n; ++ i) if (D[i][s] < -EPS)
```

```
31         if (r < 0 || (d = D[r][m] / D[r][s] - D[i][m] / D[i][s]) < -EPS
32             || (d < EPS && ix[r + m] > ix[i + m])) r = i;
33         if (r < 0) return VD(); // 无边界
34     }
35     if (D[n + 1][m] < -EPS) return VD(); // 无解
36     VD x(m - 1);
37     for (int i = m; i < n + m; ++ i) if (ix[i] < m - 1) x[ix[i]] = D[i - m][m];
38     return x; // 最优值在 D[n][m]
39 }
```

线性基

```
1  ll a[N],b[N];
2  // 插入一个数
3  void insert(ll *ff,ll x){
4      repr(i,0,60)
5          if((x>>i)&1ll)
6              if(!ff[i]){
7                  ff[i] = x;
8                  return;
9              }
10             else
11                 x ^= ff[i];
12 }
13 // 查询一个数是否在异或集合内
14 bool check(ll x){
15     repr(i,0,60){
16         if((x>>i)&1){
17             if((b[i]>>i)&1==0)return 0;
18             x^=b[i];
19             if(!x)return 1;
20         }
21     }
22     return 0;
23 }
```

线性筛

```
1  /*
2      is=0 是质数
3      phi 欧拉函数
4      mu 莫比乌斯函数
5      minp 最小质因子
6      mina 最小质因子次数
7      d 约数个数
8  */
9  int prime[N];
10 int size;
11 bool is[N];
12 int phi[N];
13 int mu[N];
14 int minp[N];
15 int mina[N];
16 int d[N];
17 void getprime(int list){
18     mu[1] = 1;
19     phi[1] = 1;
20     is[1] = 1;
21     rep(i,2,list){
22         if(!is[i]){
23             // 新的质数
24             prime[++size] = i;
25             phi[i] = i-1;
26             mu[i] = -1;
27             minp[i] = i;
28             mina[i] = 1;
29             d[i] = 2;
30         }
31         rep(j,1,size){
32             // 用已有的质数去筛合数
33             if(i*prime[j]>list)
34                 break;
35             // 标记合数
36             is[i * prime[j]] = 1;
```

```
37         minp[i*prime[j]] = prime[j];
38         if(i % prime[j] == 0){
39             // i 是质数的倍数
40             // 这个质数的次数大于 1
41             mu[i*prime[j]] = 0;
42             // 次数 ++
43             phi[i*prime[j]] = phi[i] * prime[j];
44             // 次数 ++
45             mina[i*prime[j]] = mina[i]+1;
46             d[i*prime[j]] = d[i]/(mina[i]+1)*(mina[i]+2);
47             break;
48         }else{
49             // 添加一个新的质因子
50             phi[i*prime[j]] = phi[i] * (prime[j] - 1);
51             mu[i*prime[j]] = -mu[i];
52             mina[i*prime[j]] = 1;
53             d[i*prime[j]] = d[i]*d[prime[j]];
54         }
55     }
56 }
57 }
```

线性求逆元

```
1 inv[1] = 1;
2 rep(i,2,n)inv[i] = (MOD-(MOD/i)) * (1ll)inv[MOD%i] % MOD;
```

FFT

```
1 #define maxfft 524288+5
2 const double pi=acos(-1.0);
3 struct cp{
4     double a,b;
5     cp operator +(const cp &o)const {return (cp){a+o.a,b+o.b};}
6     cp operator -(const cp &o)const {return (cp){a-o.a,b-o.b};}
7     cp operator *(const cp &o)const {return (cp){a*o.a-b*o.b,b*o.a+a*o.b};}
8     cp operator *(const double &o)const {return (cp){a*o,b*o};}
9     cp operator !() const{return (cp){a,-b};}
10 }w[maxfft];
11 int pos[maxfft];
12 void fft_init(int len){
13     int j=0;
14     while((1<j)<len)j++;
15     j--;
16     for(int i=0;i<len;i++){
17         pos[i]=pos[i>>1]>>1|(((i&1)<<j));
18     }
19 void fft(cp *x,int len,int sta){
20     for(int i=0;i<len;i++){
21         if(i<pos[i])swap(x[i],x[pos[i]]);
22     }w[0]=(cp){1,0};
23     for(unsigned i=2;i<=len;i<=1){
24         cp g=(cp){cos(2*pi/i),sin(2*pi/i)*sta};
25         for(int j=i>>1;j>=0;j-=2)w[j]=w[j>>1];
26         for(int j=1;j<i>>1;j+=2)w[j]=w[j-1]*g;
27         for(int j=0;j<len;j+=i){
28             cp *a=x+j,*b=a+(i>>1);
29             for(int l=0;l<i>>1;l++){
30                 cp o=b[l]*w[l];
31                 b[l]=a[l]-o;
32                 a[l]=a[l]+o;
33             }
34         }
35     }
36     if(sta===-1)for(int i=0;i<len;i++)x[i].a/=len,x[i].b/=len;
37 }
38 cp x[maxfft],y[maxfft],z[maxfft];
39 // a[0..n-1] 和 b[0..m-1] 的卷积存在 c 中
40 void FFT(int *a,int n,int *b,int m,ll *c){
41     int len=1;
42     while(len<(n+m+1)>>1)len<=1;
43     fft_init(len);
44     for(int i=n/2;i<len;i++)x[i].a=x[i].b=0;
45     for(int i=m/2;i<len;i++)y[i].a=y[i].b=0;
```

```

46     for(int i=0;i<n;i++){if(i&1)x[i>>1].b:x[i>>1].a=a[i];
47     for(int i=0;i<m;i++){if(i&1)y[i>>1].b:y[i>>1].a=b[i];
48     fft(x,len,1),fft(y,len,1);
49     for(int i=0;i<len/2;i++){
50         int j=len-1&len-i;
51         z[i]=x[i]*y[i]-(x[i]-!x[j])*(y[i]-!y[j])*(w[i]+(cp){1,0})*0.25;
52     }
53     for(int i=len/2;i<len;i++){
54         int j=len-1&len-i;
55         z[i]=x[i]*y[i]-(x[i]-!x[j])*(y[i]-!y[j])*((cp){1,0}-w[i^len>>1])*0.25;
56     }
57     fft(z,len,-1);
58     for(int i=0;i<n+m;i++){
59         if(i&1)c[i]=(ll)(z[i>>1].b+0.5);
60         else c[i]=(ll)(z[i>>1].a+0.5);
61     }

```

NTT+CRT

```

1  /*
2      计算形式为  $a[n] = \sigma(b[n-i]*c[i])$  的卷积，结果存在  $c$  中
3      下标从  $0$  开始
4      调用  $convolution(a,n,b,m,c)$ 
5      MOD 为模数,CRT 合并
6      若模数为  $m1$ ，卷积做到  $x3$ ，把  $x3$  替换为  $c$ 
7      首先调用  $GetWn(m1,WN[0]),GetWn(m2,WN[1])$ 
8      模数满足的性质为  $mod=2^k*(奇数)+1$   $2^k>2n$  时可以在模意义下做 FFT
9       $998244353 = 2^{23}*7*17+1$ 
10      $1004535809 = 2^{21}*479+1$ 
11 */
12 const int G = 3;
13 const int MOD=1000003,m1=998244353,m2=1004535809;
14 const ll P=1002772198720536577LL;
15 inline ll mul(ll a,ll b){
16     ll d=(ll)floor(a*(double)b/P+0.5);
17     ll ret=a*b-d*P;
18     if(ret<0)ret+=P;
19     return ret;
20 }
21 inline int CRT(int r1,int r2){
22     ll a = mul(r1,m2);
23     a = mul(a,33274795911);
24     ll b = mul(r2,m1);
25     b = mul(b,66969069911);
26     a = (a+b)%P;
27     return a%MOD;
28 }
29 int mul(int x, int y, int mod){
30     ll z = 1LL*x*y;
31     return z-z/mod*mod;
32 }
33 int add(int x, int y, int mod){
34     x += y;
35     if(x >= mod)x -= mod;
36     return x;
37 }
38 const int NUM = 20;
39 int WN[2][NUM];
40 void GetWn(int mod, int wn[]){
41     rep(i,0,NUM-1){
42         int t = 1<<i;
43         wn[i] = pwM(G, (mod - 1) / t, mod);
44     }
45 }
46 void NTT(int a[], int len, int t, int mod, int wn[]){
47     for(int i = 0,j = 0;i < len; ++i){
48         if(i > j)swap(a[i], a[j]);
49         for(int l = len >> 1;(j ^= l) < l;l >>= 1);
50     }
51     int id = 0;
52     for(int h = 2;h <= len;h <= 1){
53         id++;
54         for(int j = 0;j < len;j += h){
55             int w = 1;
56             for(int k = j;k < j+h/2; ++k){

```



```

57         int u = a[k];
58         int t = mul(w, a[k+h/2], mod);
59         a[k] = add(u, t, mod);
60         a[k+h/2] = add(u, mod-t, mod);
61         w = mul(w, wn[id], mod);
62     }
63 }
64 }
65 if(t == -1){
66     rep(i,1,len/2-1)swap(a[i], a[len-i]);
67     int inv = pwM(len, mod-2, mod);
68     rep(i,0,len-1)a[i] = mul(a[i], inv, mod);
69 }
70 }
71 int x1[N], x2[N], x3[N], x4[N];
72 void convolution(ll a[], int l1, ll b[], int l2, ll c[]){
73     int len = 1;
74     while(len < l1*2 || len < l2*2)len <= 1;
75     rep(i,0,l1-1)x1[i] = a[i]%m1;
76     rep(i,l1,len-1)x1[i] = 0;
77     rep(i,0,l2-1)x2[i] = b[i]%m1;
78     rep(i,l2,len-1)x2[i] = 0;
79     NTT(x1,len,1,m1,WN[0]);NTT(x2,len,1,m1,WN[0]);
80     rep(i,0,len-1)x3[i] = (ll)x1[i]*x2[i]%m1;
81     NTT(x3,len,-1,m1,WN[0]);
82     // 单模数到这里结束
83     rep(i,0,l1-1)x1[i] = a[i]%m2;
84     rep(i,l1,len-1)x1[i] = 0;
85     rep(i,0,l2-1)x2[i] = b[i]%m2;
86     rep(i,l2,len-1)x2[i] = 0;
87     NTT(x1,len,1,m2,WN[1]);NTT(x2,len,1,m2,WN[1]);
88     rep(i,0,len-1)x4[i] = (ll)x1[i]*x2[i]%m2;
89     NTT(x4,len,-1,m2,WN[1]);
90     // 合并两次卷积的结果
91     rep(i,0,len-1)c[i] = CRT(x3[i], x4[i]);
92 }

```

FWT

```

1 void fwt1(int *a, int len){
2     for(int i=0;i<len;i+=2)
3         _add(a[i+1],a[i]);
4     for(int i=4;i<=len;i<=1)
5         for(int j=0;j<len;j+=i)
6             for(int k=0;k<i/2;k+=2){
7                 _add(a[j+k+i/2],a[j+k]);
8                 _add(a[j+k+i/2+1],a[j+k+1]);
9             }
10 }
11 void fwt2(int *a, int len){
12     for(int i=0;i<len;i+=2)
13         _sub(a[i+1],a[i]);
14     for(int i=4;i<=len;i<=1)
15         for(int j=0;j<len;j+=i)
16             for(int k=0;k<i/2;k+=2){
17                 _sub(a[j+k+i/2],a[j+k]);
18                 _sub(a[j+k+i/2+1],a[j+k+1]);
19             }
20 }
21 void fwt3(int *a, int len){
22     for(int i=2;i<=len;i<=1)
23         for(int j=0;j<len;j+=i)
24             for(int k=0;k<i/2;k++){
25                 int u=a[j+k];
26                 int v=a[j+k+i/2];
27                 _add(a[j+k],v);
28                 _sub(u,v);
29                 a[j+k+i/2]=u;
30             }
31 }
32 void fwt4(int *a, int len){
33     for(int i=2;i<=len;i<=1)
34         for(int j=0;j<len;j+=i)
35             for(int k=0;k<i/2;k++){
36                 int u=a[j+k];

```

```

37         int v=a[j+k+i/2];
38         _add(a[j+k],v);
39         _sub(u,v);
40         a[j+k+i/2]=u;
41     }
42     ll inv=pw(len%MOD,MOD-2);
43     for(int i=0;i<len;i++)
44         _mul(a[i],inv);
45 }
46 void fwt5(int *a, int len){
47     for(int i=2;i<=len;i<=1)
48         for(int j=0;j<len;j+=i)
49             for(int k=0;k<i/2;k++)
50                 _add(a[j+k],a[j+k+i/2]);
51 }
52 void fwt6(int *a, int len){
53     for(int i=2;i<=len;i<=1)
54         for(int j=0;j<len;j+=i)
55             for(int k=0;k<i/2;k++)
56                 _sub(a[j+k],a[j+k+i/2]);
57 }
58 int bitcount[N];
59 int a1[18][N],a2[18][N];
60 void or_conv(int *a,int *b,int *c, int len){
61     for(int i=0;i<len;i++)
62         a1[bitcount[i]][i]=a[i];
63     int width=bitcount[len-1];
64     for(int i=0;i<=width;i++)
65         fwt1(a1[i],len);
66     for(int i=width;i>=0;i--)
67         for(int j=0;j<=i;j++)
68             for(int k=0;k<len;k++)
69                 a2[i][k]=(a2[i][k]+(ll)a1[i-j][k]*a1[j][k])%MOD;
70     for(int i=0;i<=width;i++)
71         fwt2(a2[i],len);
72     for(int i=0;i<len;i++)
73         c[i]=a2[bitcount[i]][i];
74 }
75 void xor_conv(int *a,int *b,int *c, int len){
76     static int a1[N],a2[N];
77     memcpy(a1,a,sizeof a1);
78     memcpy(a2,b,sizeof a2);
79     fwt3(a1,len);
80     fwt3(a2,len);
81     for(int i=0;i<len;i++)
82         a1[i]=(ll)a1[i]*a2[i]%MOD;
83     fwt4(a1,len);
84     memcpy(c,a1,sizeof a1);
85 }
86 void and_conv(int *a,int *b,int *c, int len){
87     static int a1[N],a2[N];
88     memcpy(a1,a,sizeof a1);
89     memcpy(a2,b,sizeof a2);
90     fwt5(a1,len);
91     fwt5(a2,len);
92     for(int i=0;i<len;i++)
93         a1[i]=(ll)a1[i]*a2[i]%MOD;
94     fwt6(a1,len);
95     memcpy(c,a1,sizeof a1);
96 }

```

类欧和 Farey 序列

```

1  /// 类欧几里得
2  /// 类欧几里得用于计算  $\sum_{i=0}^{n-1} (a \cdot i + b) \cdot c$ 
3  /// 它的几何意义是计算区域  $1 \leq y \leq a \cdot x + b$ ,  $0 \leq x \leq n$  的整点个数.
4  ///
5  /// Farey 序列
6  /// 是一个用于枚举最简有理数  $y/x$  序列.
7  /// 序列由  $1/0$  和  $0/1$  构造,
8  /// 每次对相邻的两个数  $Ly/Lx$ ,  $ry/rx$ , 在其中插入一个数  $(Ly+ry)/(Lx+rx)$  构造新的序列.
9  /// 第  $n$  个序列满足  $0 \leq y \leq n$ ,  $0 \leq x \leq n$ .
10 ///
11 /// 可以使用类欧几里得统计的无限长 Farey 序列的前缀中  $0 \leq y \leq n$ ,  $0 \leq x \leq m$  的数字个数,
12 /// 进而可以在  $0 \leq y \leq n$ ,  $0 \leq x \leq m$  的序列上二分.

```

```

13 ///
14 //////////////////////////////////////
15
16 // AC 牛客多校 2018 第十场 Rikka with Ants
17 // 注意对结果取模的方式。
18
19 const ll mod = 998244353;
20
21 struct Num
22 {
23     ll val;
24     Num() { }
25     Num(ll const& v) : val(v >= mod ? v % mod : v) { }
26 };
27 Num operator+(Num const& a, Num const& b) { return { (a.val + b.val) % mod }; }
28 Num operator-(Num const& a, Num const& b) { return { ((a.val - b.val) % mod + mod) % mod }; }
29 Num operator*(Num const& a, Num const& b) { return { (a.val * b.val) % mod }; }
30
31 // 要求  $a, b, n \geq 0, c > 0$ 。
32 Num euc(ll a, ll b, ll c, ll n)
33 {
34     ll m = n / c * a + (n % c * a + b) / c;
35     return
36         a == 0 ? Num(b / c) * (n + 1) :
37         a >= c || b >= c ?
38             euc(a % c, b % c, c, n)
39             + Num(a / c) * (n * (n + 1) / 2)
40             + Num(b / c) * (n + 1) :
41         Num(n % mod) * m - euc(c, c - b - 1, a, m - 1);
42 }
43
44 int main()
45 {
46     rep(T, 1, getint())
47     {
48         ll a = getint(); ll b = getint();
49         ll c = getint(); ll d = getint();
50         if(a * d == b * c) { printf("-1\n"); continue; }
51         if(a * d > b * c) swap(a, c), swap(b, d);
52         ll n = (a + b) * d / (b * c - a * d);
53         Num ans = euc(a, a, b, n) - euc(c, 0, d, n) + n + 1;
54         printf("%lld\n", ans.val);
55     }
56     return 0;
57 }
58
59
60 //////////////////////////////////////
61
62 // AC NAIPC 2018 Probe Droids (https://open.kattis.com/problems/probedroids)
63
64 struct pt { ll y, x; }; // y / x
65
66 ll euc(ll a, ll b, ll c, ll n)
67 {
68     if(a == 0) return b / c * (n + 1);
69     ll m = (a * n + b) / c;
70     if(a >= c || b >= c) return euc(a % c, b % c, c, n) + a / c * (n * (n + 1) / 2) + b / c * (n + 1);
71     return n * m - euc(c, c - b - 1, a, m - 1);
72 }
73
74 // 考虑上界:  $\sum_{i=0..n, j=1..m} [j \leq (ai+b)/c]$ 
75 ll euccut(ll a, ll b, ll c, ll n, ll m)
76 {
77     ll lim = (m * c - b - 1) / a;
78     return max(n - lim, 0LL) * m + euc(a, b, c, min(lim, n));
79 }
80
81 int main()
82 {
83     ll m = getint(); ll n = getint(); int q = getint();
84     rep(t, 1, q)
85     {
86         ll s = getll() + 1;
87         if(s <= n) { printf("%lld %lld\n", 1LL, s); continue; }
88         if(s > n * m - m + 1) { printf("%lld %lld\n", s - m * (n - 1), 1LL); continue; }
89         pt l = pt { 0, 1 }, r = pt { 1, 0 };

```

```

90     while(true) // Stern-Brocot Tree
91     {
92         pt mid = pt { l.y + r.y, l.x + r.x };
93         ll cnt = euccut(mid.y, mid.x, mid.x, n-1, m);
94         ll xcnt = min((n - 1) / mid.x, (m - 1) / mid.y);
95         if(cnt - xcnt < s && s <= cnt) { l = r = mid; break; }
96         if(s <= cnt) r = mid; else l = mid;
97     }
98     ll bcnt = euccut(l.y, l.x, l.x, n-1, m) - min((n-1) / l.x, (m-1) / l.y);
99     printf("%lld %lld\n", l.y * (s - bcnt) + 1, l.x * (s - bcnt) + 1);
100 }
101 return 0;
102 }

```

常系数线性齐次递推

```

1  typedef vector<int> vi;
2  const int K=200005,mod=998244353,G=3;
3  int n,k,a[K],h[K];
4  inline void swap(int &x,int &y){int t=x;x=y;y=t;}
5  inline void add(int &x,int y){
6      y=(y%mod+mod)%mod;
7      (x+=y)%=mod;
8  }
9  inline int pow(int x,int y){
10     int ret=1;
11     for(;y;x=1LL*x*x%mod,y>>=1)
12         if(y&1) ret=1LL*ret*x%mod;
13     return ret;
14 }
15 namespace NTT{/*{
16     int n,invn,bit,rev[K*4],A[K*4],B[K*4],W[K*4][2];
17     void build(){
18         int bas=pow(G,mod-2);
19         for(int i=0;i<=18;i++){
20             W[1<<i][0]=pow(G,(mod-1)/(1<<i));
21             W[1<<i][1]=pow(bas,(mod-1)/(1<<i));
22         }
23     }
24     void init(int na,int nb,vi &a,vi &b,int fn=0){
25         if(!fn) fn=na+nb;
26         for(n=1,bit=0;n<fn;n<=1,bit++){
27             invn=pow(n,mod-2);
28             for(int i=0;i<n;i++) rev[i]=(rev[i>>1]>>1)|((i&1)<<(bit-1));
29             for(int i=0;i<n;i++) A[i]=B[i]=0;
30             for(int i=0;i<na;i++) A[i]=a[i];
31             for(int i=0;i<nb;i++) B[i]=b[i];
32         }
33         void ntt(int *a,int f){
34             for(int i=0;i<n;i++) if(i<rev[i]) swap(a[i],a[rev[i]]);
35             int w_n,w,u,v;
36             for(int i=2;i<=n;i<=1){
37                 w_n=W[i][f==1];
38                 for(int j=0;j<n;j+=i){
39                     w=1;
40                     for(int k=0;k<i/2;k++){
41                         u=a[j+k]; v=1LL*a[j+i/2+k]*w%mod;
42                         a[j+k]=(u+v)%mod;
43                         a[j+i/2+k]=(u+mod-v)%mod;
44                         w=1LL*w*w_n%mod;
45                     }
46                 }
47             }
48             if(f==1) return;
49             for(int i=0;i<n;i++) a[i]=1LL*a[i]*invn%mod;
50         }
51         void calc(){
52             ntt(A,1);
53             ntt(B,1);
54             for(int i=0;i<n;i++) A[i]=1LL*A[i]*B[i]%mod;
55             ntt(A,-1);
56         }
57         void calchh(){
58             ntt(A,1);
59             ntt(B,1);

```

```

60         for(int i=0;i<n;i++) A[i]=(2LL*B[i]%mod+mod-1LL*A[i]*B[i]%mod*B[i]%mod)%mod;
61         ntt(A,-1);
62     }
63 }
64 vi mop,b,c,T;
65 vi operator - (vi A,vi B){
66     int n=A.size(),m=B.size(),fn=max(n,m);
67     A.resize(fn);
68     for(int i=0;i<m;i++) add(A[i],-B[i]);
69     return A;
70 }
71 vi operator * (int a,vi A){
72     int n=A.size();
73     a=(a+mod)%mod;
74     for(int i=0;i<n;i++) A[i]=1LL*a*A[i]%mod;
75     return A;
76 }
77 vi operator * (vi &A,vi B){
78     int n=A.size(),m=B.size();
79     NTT::init(n,m,A,B);
80     NTT::calc();
81     A.resize(n+m-1);
82     for(int i=0;i<n+m-1;i++) A[i]=NTT::A[i];
83     return A;
84 }
85 vi inverse(vi A){
86     int n=A.size();
87     if(n==1){
88         A[0]=pow(A[0],mod-2);
89         return A;
90     }
91     vi B=A;
92     B.resize((n+1)/2);
93     B=inverse(B);
94
95     int m=B.size();
96     NTT::init(n,m,A,B,n+m-1+m-1);
97     NTT::calchh();
98     B.resize(NTT::n);
99     for(int i=0;i<NTT::n;i++) B[i]=NTT::A[i];
100
101     //B=(2*B)-(A*B)*B);
102     B.resize(n);
103     return B;
104 }
105 vi operator / (vi A,vi B){
106     int n=A.size()-1,m=B.size()-1;
107     vi C;
108     if(n<m){
109         C.resize(1); C[0]=0;
110         return C;
111     }
112     reverse(A.begin(),A.end());
113     reverse(B.begin(),B.end());
114     B.resize(n-m+1);
115     C=A*inverse(B);
116     C.resize(n-m+1);
117     reverse(C.begin(),C.end());
118     return C;
119 }
120 void module(vi &A,vi B){
121     int n=A.size()-1,m=B.size()-1;
122     if(n<m) return;
123     vi D=A/B;
124     A=A-(B*D);
125     A.resize(m);
126 }
127 void ksm(int y){
128     for(;y>=1){
129         if(y&1){
130             c=c*b;
131             module(c,mop);
132         }
133         b=b*b;
134         module(b,mop);
135     }
136 }

```

```

137 int main(){
138     NTT::build();
139     scanf("%d%d",&n,&k); n++;
140     for(int i=1;i<=k;i++) scanf("%d",&h[i]),h[i]%=mod;
141     for(int i=1;i<=k;i++) scanf("%d",&a[i]),a[i]%=mod;
142     if(n<=k){printf("%d\n",h[n]);return 0;}
143     mop.resize(k+1);
144     mop[k]=1;
145     for(int i=1;i<=k;i++) mop[k-i]=(mod-a[i])%mod;
146     b.resize(2); b[1]=1;
147     c.resize(1); c[0]=1;
148     ksm(n-1);
149     int ans=0;
150     c.resize(k);
151     for(int i=0;i<k;i++)
152         add(ans,1LL*c[i]*h[i+1]%mod);
153     printf("%d\n",ans);
154     return 0;
155 }

```

中国剩余定理

```

1  /*
2      合并 ai 在模 mi 下的结果为模 m_0*m_1*...*m_{n-1}
3  */
4  inline int exgcd(int a, int b, int &x, int &y){
5      if(!b){
6          x = 1, y = 0;
7          return a;
8      }
9      else{
10         int d = exgcd(b, a % b, x, y), t = x;
11         x = y, y = t - a / b * y;
12         return d;
13     }
14 }
15 inline int inv(int a, int p){
16     int d, x, y;
17     d = exgcd(a, p, x, y);
18     return d == 1 ? (x + p) % p : -1;
19 }
20 int china(int n,int *a,int *m){
21     int __M = MOD - 1, d, x = 0, y;
22     for(int i = 0; i < n; ++i){
23         int w = __M / m[i];
24         d = exgcd(m[i], w, d, y);
25         x = (x + ((long long)y*w%__M)*(long long)a[i]%__M)%__M;
26     }
27     while(x <= 0)
28         x += __M;
29     return x;
30 }

```

字符串

AC 自动机

[illegible]

```
16     node*s[cst];    // Trie 转移边.
17     node*trans[cst]; // 自动机转移边.
18     node*f;        // Fail 指针.
19     char v;        // 当前节点代表字符 (父节点指向自己的边代表的字符).
20     bool leaf;      // 是否是某个字符串的终点. 注意该值为 true 不一定是叶子.
21 }
22 pool[mxn]; node*pt=pool;
23 node* newnode() { memset(pt, 0, sizeof(node)); return pt++; }
24
25 /// 递推队列.
26 node*qc[mxn];
27 node*qf[mxn];
28 int qh,qt;
29
30 struct Trie
31 {
32     node*root;
33     Trie(){ root = newnode(); root->v = '*' - 'a'; }
34
35     /// g: 需要插入的字符串; Len: 长度.
36     void Insert(char* g, int len)
37     {
38         node*x=root;
39         for(int i=0;i<len;i++)
40         {
41             int v = g[i]-'a';
42             if(!x->s[v])
43             {
44                 x->s[v] = newnode();
45                 x->s[v]->v = v;
46             }
47             x = x->s[v];
48         }
49         x->leaf = true;
50     }
51
52     /// 在所有字符串插入之后执行.
53     /// BFS 递推, qc[i] 表示队中节点指针, qf 表示队中对应节点的 fail 指针.
54     void Construct()
55     {
56         node*x = root;
57         qh = qt = 0;
58         for(int i=0; i<cst; i++) if(x->s[i])
59         {
60             x->s[i]->f = root;
61             for(int j=0; j<cst; j++) if(x->s[i]->s[j])
62             { qc[qt] = x->s[i]->s[j]; qf[qt]=root; qt++; }
63         }
64
65         while(qh != qt)
66         {
67             node*cur = qc[qh], *fp = qf[qh]; qh++;
68
69             while(fp != root && !fp->s[cur->v]) fp = fp->f;
70             if(fp->s[cur->v]) fp = fp->s[cur->v];
71             cur->f = fp;
72
73             for(int i=0; i<cst; i++)
74                 if(cur->s[i]) { qc[qt] = cur->s[i]; qf[qt] = fp; qt++; }
75         }
76     }
77
78     /// 拿到转移点.
79     /// 暴力判定.
80     node* GetTrans(node*x, int v)
81     {
82         while(x != root && !x->s[v]) x = x->f;
83         if(x->s[v]) x = x->s[v];
84         return x;
85     }
86
87     /// 拿到转移点.
88     /// 记忆化搜索.
89     node* GetTrans(node*x, int v)
90     {
91         if(x->s[v]) return x->trans[v] = x->s[v];
92     }
```

字符串

```

93         if(!x->trans[v])
94         {
95             if(x == root) return root;
96             return x->trans[v] = GetTrans(x->f, v);
97         }
98
99         return x->trans[v];
100     }
101 };

```

子串 Hash

```

1  /// 字符串/数字串双模哈希。
2  /// 另外一些大质数，可以用来做更多模数的哈希。
3  /// 992837513, 996637573, 996687641, 996687697, 996687721
4  //////////////////////////////////////
5  const int mxn = 1e6 + 50;
6  const int hashmod1 = 1000000007;
7  const int hashmod2 = 992837507;
8  const int sysnum1 = 31;
9  const int sysnum2 = 29;
10 ll hx[mxn];
11 ll hy[mxn];
12 struct Hash { int x; int y; };
13 bool operator<(Hash const& a, Hash const& b) { return a.x == b.x ? a.y < b.y : a.x < b.x; }
14 bool operator==(Hash const& a, Hash const& b) { return a.x == b.x && a.y == b.y; }
15 bool operator!=(Hash const& a, Hash const& b) { return !(a == b); }
16 /// 取子串的哈希值。自觉改值域，进制数和串类型。
17 Hash GetHash(int* c, int l, int r)
18 {
19     Hash v = {0, 0};
20     rep(i, l, r)
21     {
22         v.x = (((1LL * v.x * sysnum1) % hashmod1) + c[i] + 1) % hashmod1;
23         v.y = (((1LL * v.y * sysnum2) % hashmod2) + c[i] + 1) % hashmod2;
24     }
25     return v;
26 }
27 /// 合并两个串的哈希值。注意左右顺序。
28 Hash MergeHash(Hash left, Hash right, int rightLen)
29 {
30     return Hash {
31         (int)((1LL * left.x * hx[rightLen] % hashmod1 + right.x) % hashmod1),
32         (int)((1LL * left.y * hy[rightLen] % hashmod2 + right.y) % hashmod2),
33     };
34 }
35 /// 哈希计算初始化。
36 void HashInit(int sz)
37 {
38     hx[0] = hy[0] = 1;
39     rep(i, 1, sz)
40     {
41         hx[i] = hx[i-1] * sysnum1 % hashmod1;
42         hy[i] = hy[i-1] * sysnum2 % hashmod2;
43     }
44 }

```

Manacher

```

1  #define MAXM 20001
2  //返回回文串的最大值
3  //MAXM 至少应为输入字符串长度的两倍 +1
4  int p[MAXM];
5  char s[MAXM];
6  int manacher(string str) {
7      memset(p, 0, sizeof(p));
8      int len = str.size();
9      int k;
10     for (k = 0; k < len; k++) {
11         s[2 * k] = '#';
12         s[2 * k + 1] = str[k];
13     }
14     s[2 * k] = '#';
15     s[2 * k + 1] = '\0';

```



```

16     len = strlen(s);
17     int mx = 0;
18     int id = 0;
19     for (int i = 0; i < len; ++i) {
20         if ( i < mx ) {
21             p[i] = min(p[2 * id - i], mx - i);
22         }
23         else {
24             p[i] = 1;
25         }
26         for (; s[i - p[i]] == s[i + p[i]] && s[i - p[i]] != '\0' && s[i + p[i]] != '\0' ; ) {
27             p[i]++;
28         }
29         if ( p[i] + i > mx ) {
30             mx = p[i] + i;
31             id = i;
32         }
33     }
34     int res = 0;
35     for (int i = 0; i < len; ++i) {
36         res = max(res, p[i]);
37     }
38     return res - 1;
39 }

```

Trie 树

```

1  #define CHAR_SIZE 26          //字符种类数
2  #define MAX_NODE_SIZE 10000  //最大节点数
3  inline int getCharID(char a) { //返回 a 在子数组中的编号
4      return a - 'a';
5  }
6  struct Trie{
7      int num;//记录多少单词途径该节点，即多少单词拥有以该节点为末尾的前缀
8      bool terminal;//若 terminal==true, 该节点没有后续节点
9      int count;//记录单词的出现次数，此节点即一个完整单词的末尾字母
10     struct Trie *son[CHAR_SIZE];//后续节点
11 };
12 struct Trie trie_arr[MAX_NODE_SIZE];
13 int trie_arr_point=0;
14 Trie *NewTrie(){
15     Trie *temp=&trie_arr[trie_arr_point++];
16     temp->num=1;
17     temp->terminal=false;
18     temp->count=0;
19     for(int i=0;i<sonnum;++i)temp->son[i]=NULL;
20     return temp;
21 }
22 //插入新词,root: 树根,s: 新词,len: 新词长度
23 void Insert(Trie *root,char *s,int len){
24     Trie *temp=root;
25     for(int i=0;i<len;++i){
26         if(temp->son[getCharID(s[i])]==NULL)temp->son[getCharID(s[i])]=NewTrie();
27         else {temp->son[getCharID(s[i])]->num++;temp->terminal=false;}
28         temp=temp->son[getCharID(s[i])];
29     }
30     temp->terminal=true;
31     temp->count++;
32 }
33 //删除整棵树
34 void Delete(){
35     memset(trie_arr,0,trie_arr_point*sizeof(Trie));
36     trie_arr_point=0;
37 }
38 //查找单词在字典树中的末尾节点.root: 树根,s: 单词,len: 单词长度
39 Trie* Find(Trie *root,char *s,int len){
40     Trie *temp=root;
41     for(int i=0;i<len;++i)
42         if(temp->son[getCharID(s[i])]!=NULL)
43             temp=temp->son[getCharID(s[i])];
44     else return NULL;
45     return temp;
46 }

```

后缀数组-DC3

```

1 //dc3 函数:s 为输入的字符串,sa 为结果数组,slen 为 s 长度,m 为字符串中字符的最大值 +1
2 //s 及 sa 数组的大小应为字符串大小的 3 倍。
3
4 #define MAXN 100000 //字符串长度
5
6 #define F(x) ((x)/3+((x)%3==1?0:tb))
7 #define G(x) ((x)<tb?(x)*3+1:((x)-tb)*3+2)
8
9 int wa[MAXN], wb[MAXN], wv[MAXN], ws[MAXN];
10
11 int c0(int *s, int a, int b)
12 {
13     return s[a] == s[b] && s[a + 1] == s[b + 1] && s[a + 2] == s[b + 2];
14 }
15
16 int c12(int k, int *s, int a, int b)
17 {
18     if (k == 2) return s[a] < s[b] || s[a] == s[b] && c12(1, s, a + 1, b + 1);
19     else return s[a] < s[b] || s[a] == s[b] && wv[a + 1] < wv[b + 1];
20 }
21
22 void sort(int *s, int *a, int *b, int slen, int m)
23 {
24     int i;
25     for (i = 0; i < slen; i++) wv[i] = s[a[i]];
26     for (i = 0; i < m; i++) ws[i] = 0;
27     for (i = 0; i < slen; i++) ws[wv[i]]++;
28     for (i = 1; i < m; i++) ws[i] += ws[i - 1];
29     for (i = slen - 1; i >= 0; i--) b[--ws[wv[i]]] = a[i];
30     return;
31 }
32
33 void dc3(int *s, int *sa, int slen, int m)
34 {
35     int i, j, *rn = s + slen, *san = sa + slen, ta = 0, tb = (slen + 1) / 3, tbc = 0, p;
36     s[slen] = s[slen + 1] = 0;
37     for (i = 0; i < slen; i++) if (i % 3 != 0) wa[tbc++] = i;
38     sort(s + 2, wa, wb, tbc, m);
39     sort(s + 1, wb, wa, tbc, m);
40     sort(s, wa, wb, tbc, m);
41     for (p = 1, rn[F(wb[0])] = 0, i = 1; i < tbc; i++)
42         rn[F(wb[i])] = c0(s, wb[i - 1], wb[i]) ? p - 1 : p++;
43     if (p < tbc) dc3(rn, san, tbc, p);
44     else for (i = 0; i < tbc; i++) san[rn[i]] = i;
45     for (i = 0; i < tbc; i++) if (san[i] < tb) wb[ta++] = san[i] * 3;
46     if (slen % 3 == 1) wb[ta++] = slen - 1;
47     sort(s, wb, wa, ta, m);
48     for (i = 0; i < tbc; i++) wv[wb[i]] = G(san[i]) = i;
49     for (i = 0, j = 0, p = 0; i < ta && j < tbc; p++)
50         sa[p] = c12(wb[j] % 3, s, wa[i], wb[j]) ? wa[i++] : wb[j++];
51     for (; i < ta; p++) sa[p] = wa[i++];
52     for (; j < tbc; p++) sa[p] = wb[j++];
53     return;
54 }

```

后缀数组-倍增法

```

1 /*
2     细节看 main
3     最后结果存在 p 为下标的数组内
4 */
5 int n;
6 int a[N], v[N], h[N], sa[2][N], rk[2][N];
7 int p, q, k;
8 void init(){
9     SET(a, 0);
10    SET(v, 0);
11    SET(h, 0);
12    SET(sa, 0);
13    SET(rk, 0);
14 }
15 void calsa(int *sa, int *rk, int *SA, int *RK){
16     rep(i, 1, n) v[rk[sa[i]]] = i;

```

```

17     repr(i,1,n)
18         if(sa[i]>k)
19             SA[v[rk[sa[i]-k]]--]=sa[i]-k;
20     rep(i,n-k+1,n)SA[v[rk[i]]--]=i;
21     rep(i,1,n)
22         RK[SA[i]]=RK[SA[i-1]]+(rk[SA[i-1]]!=rk[SA[i]]||rk[SA[i-1]+k]!=rk[SA[i]+k]);
23 }
24 void getsa(){
25     p=0,q=1,k=1;
26     rep(i,1,n)v[a[i]]++;
27     rep(i,1,26)v[i]+=v[i-1];
28     rep(i,1,n)sa[p][v[a[i]]--]=i;
29     rep(i,1,n)
30         rk[p][sa[p][i]]=rk[p][sa[p][i-1]]+(a[sa[p][i]]!=a[sa[p][i-1]]);
31     for(k=1;k<n;k<=1,swap(p,q))
32         calsa(sa[p],rk[p],sa[q],rk[q]);
33 }
34 void geth(){
35     k=0;
36     rep(i,1,n)
37         if(rk[p][i]==1)h[rk[p][i]]=0;
38         else{
39             int j=sa[p][rk[p][i]-1];
40             while(a[i+k]==a[j+k])k++;
41             h[rk[p][i]]=k;
42             if(k>0)k--;
43         }
44 }
45 int main(){
46     while(T--){
47         init();
48         scanf("%s",str+1);
49         n = strlen(str+1);
50         rep(i,1,n)a[i]=str[i]-'a'+1;
51         getsa();
52         geth();
53         h[0] = h[1] = 0;h[n+1] = 0;
54     }
55     return 0;
56 }

```

后缀自动机

```

1  /*
2      init() 初始化
3      ins(w) 从后插入新点
4      getsz() 做出 parent 树, 求出 right 集合大小 =sz
5  */
6  struct SAM{
7      static const int K = 26;
8      int rt, la, nodes;
9      int len[N], n[N][K], pa[N], sz[N];
10     void init(){
11         nodes = 0;
12         rt = la = newnode(0);
13     }
14     int newnode(int p1){
15         int i = ++nodes;
16         len[i] = p1;
17         pa[i] = 0;
18         sz[i] = 0;
19         SET(n[i],0);
20         return i;
21     }
22     void ins(int w){
23         int p = la, np = newnode(len[p]+1);
24         la = np;
25         sz[np] = 1;
26         while(p && !n[p][w])n[p][w] = np, p = pa[p];
27         if(!p)pa[np] = rt;
28         else{
29             int q = n[p][w];
30             if(len[q] == len[p]+1)pa[np] = q;
31             else{
32                 int nq = newnode(len[p]+1);

```

```

33         memcpy(n[nq], n[q], sizeof(n[q]));
34         pa[nq] = pa[q];
35         pa[q] = pa[np] = nq;
36         while(p && n[p][w] == q)n[p][w] = nq, p = pa[p];
37     }
38 }
39 }
40 void getsz(){
41     rep(i,2,nodes)
42         adde(pa[i],i);
43     dfs(rt);
44 }
45 void dfs(int u){
46     for(int i = point[u];i;i=G[i].n){
47         int v = G[i].v;
48         dfs(v);
49         sz[u] += sz[v];
50     }
51 }
52 }sam;

```

回文自动机

```

1  /*
2      用法类似 sam
3      本质不同的回文串有  $O(n)$  个
4      回文树有两个根
5       $a$  向  $b$  有一个  $c$  的转移表示对  $a$  表示的回文串两端都加上  $c$  变成  $b$ 
6      分别为  $even, odd$ , 长度分别是  $0$  和  $-1$ 
7       $len$  为一个点代表的字符串的实际长度
8       $suffix$  为这个点失配后的最长回文后缀, 且下标比  $i$  小
9       $n$  是自动机的边
10      $cnt$  是出现次数, 向  $suffix$  传递, 需要调用  $calc()$ 
11 */
12 struct PAM{
13     char str[N];
14     int n[N][M], suffix[N], len[N], cnt[N];
15     int tot, suf;
16     int newnode(){
17         int i = tot++;
18         SET(n[i],0);
19         suffix[i] = len[i] = cnt[i] = 0;
20         return i;
21     }
22     void init(){
23         tot = 0;
24         int p = newnode(), q = newnode();
25         len[p] = 0;
26         suffix[p] = q;
27         len[q] = -1;
28         suffix[q] = q;
29         suf = 0;
30     }
31     int getfail(int x, int l){
32         while(str[l-1-len[x]] != str[l])
33             x = suffix[x];
34         return x;
35     }
36     int insert(int x){
37         int c = str[x] - 'a';
38         int p = getfail(suf,x);
39         if(!n[p][c]){
40             int q = newnode();
41             len[q] = len[p]+2;
42             suffix[q] = n[getfail(suffix[p],x)][c];
43             n[p][c] = q;
44         }
45         p = n[p][c];
46         cnt[p]++;
47         suf = p;
48         return suf;
49     }
50     void calc(){
51         repr(i,0,tot-1)
52             cnt[suffix[i]] += cnt[i];

```

```

53     }
54     void debug(){
55         rep(i,0,tot-1){
56             pr(i,sp,pr(suffix[i]),sp,pr(cnt[i]),ln;
57             rep(j,0,M-1)if(n[i][j])putchar('a'+j),sp,pr(n[i][j]),ln;
58         }
59     }
60     void solve(){
61         init();
62         cin>>str;
63         rep(i,0,strlen(str)-1)
64             insert(i);
65     }
66 };

```

KMP

```

1  /*
2     0-index
3     p[i] 表示最长的前缀 [0...p[i]] 和以 i 为结尾的后缀相等
4     [0.....i]
5     [0..p[i]]
6     i-p[i] 如果为 i+1 的约数说明 [0...i] 为循环串，循环节为 i-p[i]
7  */

```

扩展 KMP

```

1  //使用 getExtend 获取 extend 数组 (s[i]...s[n-1] 与 t 的最长公共前缀的长度)
2  //s,t,slen,tlen, 分别为对应字符串及其长度.
3  //next 数组返回 t[i]...t[m-1] 与 t 的最长公共前缀长度, 调用时需要提前开辟空间
4  void getNext(char* t, int tlen, int* next){
5      next[0] = tlen;
6      int a;
7      int p;
8      for (int i = 1, j = -1; i < tlen; i++, j--){
9          if (j < 0 || i + next[i - a] >= p){
10             if (j < 0) {
11                 p = i;
12                 j = 0;
13             }
14             while (p < tlen && t[p] == t[j]) {
15                 p++;
16                 j++;
17             }
18             next[i] = j;
19             a = i;
20         }
21         else {
22             next[i] = next[i - a];
23         }
24     }
25 }
26 void getExtend(char* s, int slen, char* t, int tlen, int* extend, int* next){
27     getNext(t, next);
28     int a;
29     int p;
30     for (int i = 0, j = -1; i < slen; i++, j--){
31         if (j < 0 || i + next[i - a] >= p){
32             if (j < 0) {
33                 p = i, j = 0;
34             }
35             while (p < slen && j < tlen && s[p] == t[j]) {
36                 p++;
37                 j++;
38             }
39             extend[i] = j;
40             a = i;
41         }
42         else {
43             extend[i] = next[i - a];
44         }
45     }
46 }

```

动态规划

插头 DP

```

1 //POJ 2411
2 //一个 row*col 的矩阵，希望用 2*1 或者 1*2 的矩形来填充，求填充的总方案数
3 //输入为长和宽
4 #define LL Long Long
5 const int maxn=2053;
6 struct Node{
7     int H[maxn];
8     int S[maxn];
9     LL N[maxn];
10    int size;
11    void init(){
12        size=0;
13        memset(H,-1,sizeof(H));
14    }
15    void push(int SS,LL num){
16        int s=SS%maxn;
17        while( ~H[s] && S[H[s]]!=SS )
18            s=(s+1)%maxn;
19
20        if(~H[s]){
21            N[H[s]]+=num;
22        }
23        else{
24            S[size]=SS;
25            N[size]=num;
26            H[s]=size++;
27        }
28    }
29    LL get(int SS){
30        int s=SS%maxn;
31        while( ~H[s] && S[H[s]]!=SS )
32            s=(s+1)%maxn;
33
34        if(~H[s]){
35            return N[H[s]];
36        }
37        else{
38            return 0;
39        }
40    }
41 }dp[2];
42 int now,pre;
43 int get(int S,int p,int l=1){
44     if(p<0) return 0;
45     return (S>>(p*1))&((1<<l)-1);
46 }
47 void set(int &S,int p,int v,int l=1){
48     S^=get(S,p,l)<<(p*1);
49     S^=(v&((1<<l)-1))<<(p*1);
50 }
51 int main(){
52     int n,m;
53     while( scanf("%d%d",&n,&m),n||m ){
54         if(n%2 && m%2) {puts("0");continue;}
55         int now=1,pre=0;
56         dp[now].init();
57         dp[now].push(0,1);
58         for(int i=0;i<n;i++) for(int j=0;j<m;j++){
59             swap(now,pre);
60             dp[now].init();
61             for(int s=0;s<dp[pre].size;s++){
62                 int S=dp[pre].S[s];
63                 LL num=dp[pre].N[s];
64                 int p=get(S,j);
65                 int q=get(S,j-1);
66                 int nS=S;
67                 set(nS,j,1-p);
68                 dp[now].push(nS,num);
69                 if(p==0 && q==1){
70                     set(S,j-1,0);
71                     dp[now].push(S,num);
72                 }

```

```

73         }
74     }
75     printf("%lld\n", dp[now].get(0));
76 }
77 }

```

概率 DP

```

1  /*
2  POJ 2096
3  一个软件有 s 个子系统，会产生 n 种 bug
4  某人一天发现一个 bug，这个 bug 属于一个子系统，属于一个分类
5  每个 bug 属于某个子系统的概率是 1/s，属于某种分类的概率是 1/n
6  问发现 n 种 bug，每个子系统都发现 bug 的天数的期望。
7  dp[i][j] 表示已经找到 i 种 bug, j 个系统的 bug，达到目标状态的天数的期望
8  dp[n][s]=0; 要求的答案是 dp[0][0];
9  dp[i][j] 可以转化成以下四种状态：
10     dp[i][j], 发现一个 bug 属于已有的 i 个分类和 j 个系统。概率为 (i/n)*(j/s);
11     dp[i][j+1], 发现一个 bug 属于已有的分类，不属于已有的系统。概率为 (i/n)*(1-j/s);
12     dp[i+1][j], 发现一个 bug 属于已有的系统，不属于已有的分类，概率为 (1-i/n)*(j/s);
13     dp[i+1][j+1], 发现一个 bug 不属于已有的系统，不属于已有的分类，概率为 (1-i/n)*(1-j/s);
14  整理便得到转移方程
15  */
16  const int MAXN = 1010;
17  double dp[MAXN][MAXN];
18  int main(){
19     int n, s;
20     while (scanf("%d%d", &n, &s) != EOF){
21         dp[n][s] = 0;
22         for (int i = n; i >= 0; i--)
23             for (int j = s; j >= 0; j--){
24                 if (i == n && j == s) continue;
25                 dp[i][j] = (i * (s - j) * dp[i][j + 1] + (n - i) * j * dp[i + 1][j] + (n - i) * (s - j) * dp[i + 1][j + 1] + n * s)
26                     ↪ / (n * s - i * j);
27             }
28         printf("%.41f\n", dp[0][0]);
29     }
30     return 0;
31 }

```

数位 DP

```

1  //HDU-2089 输出不包含 4 和 62 的数字的个数
2  int dp[22][2][10];
3  int digit[20];
4  //pos: 当前位置;lim: 是否考虑位数;pre: 前一位;alr: 已经匹配?
5  int dps(int pos, int lim, int pre, int alr){
6     if(pos < 0){
7         return alr;
8     }
9     if(!lim && (dp[pos][alr][pre] != -1)){
10         return dp[pos][alr][pre];
11     }
12     int result = 0;
13     int len = lim ? digit[pos] : 9;
14     for(int i = 0; i <= len; i++){
15         result += dps(pos - 1, lim && (i == len), i, alr || (pre == 6 && i == 2) || (i==4));
16     }
17     if(!lim){
18         dp[pos][alr][pre] = result;
19     }
20     return result;
21 }
22 int solve(int x){
23     memset(dp, -1, sizeof(dp));
24     int length = 0;
25     while(x){
26         digit[length++] = (x % 10);
27         x /= 10;
28     }
29     return dps(length - 1, 1, 0, 0);
30 }
31 int main(){
32     int a,b;

```

```
33 while(scanf("%d%d",&a,&b),a||b){
34     printf("%d\n", b-a+1-slove(b>0?b:1)+slove((a-1)>0?(a-1):1));
35 }
36 return 0;
37 }
```

四边形 DP

```
1  /*HDOJ2829
2  题目大意：给定一个长度为  $n$  的序列，至多将序列分成  $m$  段，每段序列都有权值，权值为序列内两个数两两相乘之和。 $m \leq n \leq 1000$ ，令权值最小。
3  状态转移方程：
4   $dp[c][i] = \min(dp[c][i], dp[c-1][j] + w[j+1][i])$ 
5  url->:http://blog.csdn.net/bnmjmz/article/details/41308919
6  */
7  const int INF = 1 << 30;
8  const int MAXN = 1000 + 10;
9  typedef long long LL;
10 LL dp[MAXN][MAXN]; //dp[c][j] 表示前 j 个点切了 c 次后的最小权值
11 int val[MAXN];
12 int w[MAXN][MAXN]; //w[i][j] 表示 i 到 j 无切割的权值
13 int s[MAXN][MAXN]; //s[c][j] 表示前 j 个点切的第 c 次的位置
14 int sum[MAXN];
15 int main(){
16     int n, m;
17     while (~scanf("%d%d", &n, &m)){
18         if (n == 0 && m == 0)break;
19         memset(s, 0, sizeof(s));
20         memset(w, 0, sizeof(w));
21         memset(dp, 0, sizeof(dp));
22         memset(sum, 0, sizeof(sum));
23         for (int i = 1; i <= n; ++i){
24             scanf("%d", &val[i]);
25             sum[i] += sum[i - 1] + val[i];
26         }
27         for (int i = 1; i <= n; ++i){
28             w[i][i] = 0;
29             for (int j = i + 1; j <= n; ++j){
30                 w[i][j] = w[i][j - 1] + val[j] * (sum[j - 1] - sum[i - 1]);
31             }
32         }
33         for (int i = 1; i <= n; ++i){
34             for (int j = 1; j <= m; ++j){
35                 dp[j][i] = INF;
36             }
37         }
38         for (int i = 1; i <= n; ++i){
39             dp[0][i] = w[1][i];
40             s[0][i] = 0;
41         }
42         for (int c = 1; c <= m; ++c){
43             s[c][n + 1] = n; //设置边界
44             for (int i = n; i > c; --i){
45                 int tmp = INF, k;
46                 for (int j = s[c - 1][i]; j <= s[c][i + 1]; ++j){
47                     if (dp[c - 1][j] + w[j + 1][i] < tmp){
48                         tmp = dp[c - 1][j] + w[j + 1][i]; //状态转移方程, j 之前切了 c-1 次, 第 c 次切 j 到 j+1 间的
49                         k = j;
50                     }
51                 }
52                 dp[c][i] = tmp;
53                 s[c][i] = k;
54             }
55         }
56         printf("%d\n", dp[m][n]);
57     }
58     return 0;
59 }
```

完全背包

```
1 for (int i = 1; i <= N; i++){
2     for (int v = weight[i]; v <= V; v++){
3         f[v] = max(f[v], f[v - weight[i]] + Value[i]);
4     }
```



```
4     }
5 }
```

斜率 DP

```
1 //HDU 3507
2 //给出  $n, m$ , 求在  $n$  个数中分成任意段, 每段的花销是  $(\sigma(a[l], a[r]) + m)^2$ , 求最小值
3 //http://acm.hdu.edu.cn/showproblem.php?pid=3507
4 const int MAXN = 500010;
5 int dp[MAXN];
6 int q[MAXN];
7 int sum[MAXN];
8 int head, tail, n, m;
9 int getDP(int i, int j){
10     return dp[j] + m + (sum[i] - sum[j]) * (sum[i] - sum[j]);
11 }
12 int getUP(int j, int k){
13     return dp[j] + sum[j] * sum[j] - (dp[k] + sum[k] * sum[k]);
14 }
15 int getDOWN(int j, int k){
16     return 2 * (sum[j] - sum[k]);
17 }
18 int main(){
19     while (scanf("%d%d", &n, &m) == 2){
20         for (int i = 1; i <= n; i++){
21             scanf("%d", &sum[i]);
22             sum[0] = dp[0] = 0;
23             for (int i = 1; i <= n; i++){
24                 sum[i] += sum[i - 1];
25             }
26             head = tail = 0;
27             q[tail++] = 0;
28             for (int i = 1; i <= n; i++){
29                 while (head + 1 < tail && getUP(q[head + 1], q[head]) <= sum[i]*getDOWN(q[head + 1], q[head]))
30                     head++;
31                 dp[i] = getDP(i, q[head]);
32                 while (head + 1 < tail && getUP(i, q[tail - 1])*getDOWN(q[tail - 1], q[tail - 2]) <= getUP(q[tail - 1], q[tail - 2])*getDOWN(i, q[tail - 1]))
33                     tail--;
34                 q[tail++] = i;
35             }
36             printf("%d\n", dp[n]);
37         }
38     }
39     return 0;
40 }
```

状压 DP

```
1 //CF 580D
2 //有  $n$  种菜, 选  $m$  种. 每道菜有一个权值, 有些两个菜按顺序挨在一起会有  $combo$  的权值加成. 求最大权值
3 const int maxn = 20;
4 typedef long long LL;
5 int a[maxn];
6 int comb[maxn][maxn];
7 LL dp[(1 << 18) + 10][maxn];
8 LL ans = 0;
9 int n, m, k;
10 int Cnt(int st){
11     int res = 0;
12     for (int i = 0; i < n; i++){
13         if (st & (1 << i)){
14             res++;
15         }
16     }
17     return res;
18 }
19 int main(){
20     memset(comb, 0, sizeof comb);
21     scanf("%d%d%d", &n, &m, &k);
22     for (int i = 0; i < n; i++){
23         scanf("%d", &a[i]);
24     }
25     for (int i = 0; i < k; i++){
26         int x, y, c;
27         scanf("%d%d%d", &x, &y, &c);
```

```
28         x--;
29         y--;
30         comb[x][y] = c;
31     }
32     int end = (1 << n);
33     memset(dp, 0, sizeof dp);
34     for (int st = 0; st < end; st++){
35         for (int i = 0; i < n; i++){
36             if (st & (1 << i)){
37                 bool has = false;
38                 for (int j = 0; j < n; j++){
39                     if (j != i && (st & (1 << j))){
40                         has = true;
41                         dp[st][i] = max(dp[st][i], dp[st ^ (1 << i)][j] + a[i] + comb[j][i]);
42                     }
43                 }
44                 if (!has){
45                     dp[st][i] = a[i];
46                 }
47             }
48             if (Cnt(st) == m){
49                 ans = max(ans, dp[st][i]);
50             }
51         }
52     }
53     cout << ans << endl;
54     return 0;
55 }
```

最长上升子序列

```
1  //f[i] 表示前缀 LIS,g[i] 表示长为 i 的 LIS 的最小结尾数字
2  int LIS(int *f, int *g){
3      memset(f,0,(n+1)*sizeof(int));
4      f[1] = 1;
5      memset(g,127,(n+1)*sizeof(int));
6      g[0] = -infi;
7      int nmax = 1;
8      g[nmax] = a[1];
9      rep(i,2,n){
10         int v = lower_bound(g,g+nmax+1,a[i])-g-1;
11         f[i] = v+1;
12         nmax = max(nmax, v+1);
13         g[v+1] = min(g[v+1], a[i]);
14     }
15     return nmax;
16 }
```

杂项

测速

```
1  /*
2   require c++11 support
3  */
4  #include <chrono>
5  using namespace chrono;
6  int main(){
7      auto start = system_clock::now();
8      //do something
9      auto end = system_clock::now();
10     auto duration = duration_cast<microseconds>(end - start);
11     cout << double(duration.count()) * microseconds::period::num / microseconds::period::den << endl;
12 }
```

日期公式

```
1  /*
2   zeller 返回星期几%7
3  */
```

```

4 int zeller(int y,int m,int d) {
5     if (m<=2) y--,m+=12; int c=y/100; y%=100;
6     int w=((c>>2)-(c<<1)+y+(y>>2)+(13*(m+1)/5)+d-1)%7;
7     if (w<0) w+=7; return(w);
8 }
9 /*
10     用于计算天数
11 */
12 int getId(int y, int m, int d) {
13     if (m < 3) {y --; m += 12;}
14     return 365 * y + y / 4 - y / 100 + y / 400 + (153 * m + 2) / 5 + d;
15 }

```

读入挂

```

1 // sc(x) pr(x)
2 #define BUF_SIZE 100000
3 bool IOerror = 0;
4 inline char nc(){//next char
5     static char buf[BUF_SIZE], *p1 = buf + BUF_SIZE, *pend = buf + BUF_SIZE;
6     if(p1 == pend){
7         p1 = buf;
8         pend = buf + fread(buf, 1, BUF_SIZE, stdin);
9         if(pend == p1){
10             IOerror = 1;
11             return -1;
12         }
13     }
14     return *p1++;
15 }
16 inline bool blank(char ch){
17     return ch == ' ' || ch == '\n' || ch == '\r' || ch == '\t';
18 }
19 inline int sc(int &x){
20     char ch;
21     int sgn = 1;
22     while(blank(ch = nc()));
23     if(IOerror)
24         return -1;
25     if(ch=='-')sgn=-1,ch=nc();
26     for(x = ch - '0'; (ch = nc()) >= '0' && ch <= '9'; x = x * 10 + ch - '0');
27     x*=sgn;
28     return 1;
29 }
30 inline void pr(int x){
31     if (x == 0){
32         putchar('0');
33         return;
34     }
35     short i, d[19];
36     for (i = 0;x; ++i)
37         d[i] = x % 10, x /= 10;
38     while (i--)
39         putchar(d[i] + '0');
40 }
41 #undef BUF_SIZE

```

随机数

```

1 #include <random>
2 #include <chrono>
3 using namespace std::chrono;
4
5 int rd(int l, int r)
6 {
7     static default_random_engine gen(high_resolution_clock::now().time_since_epoch().count());
8     return uniform_int_distribution<int>(l, r)(gen);
9 }
10
11 double rd(double l, double r)
12 {
13     static default_random_engine gen(high_resolution_clock::now().time_since_epoch().count());
14     return uniform_real_distribution<double>(l, r)(gen);

```

15 }

高精度

```
1  const int base = 1000000000;
2  const int base_digits = 9;
3  struct bigint{
4      vector<int> a;
5      int sign; // 符号位 1 / -1
6      // 基本函数
7      bigint() : sign(1){}
8      bigint(long long v){
9          *this = v;
10     }
11     bigint(const string &s){
12         read(s);
13     }
14     void operator=(const bigint &v){
15         sign = v.sign;
16         a = v.a;
17     }
18     void operator=(long long v){
19         sign = 1;
20         if (v < 0) sign = -1, v = -v;
21         a.clear();
22         for (; v > 0; v = v / base)
23             a.push_back(v % base);
24     }
25     // 长度
26     int size(){
27         if (a.empty())
28             return 0;
29         int ans = (a.size() - 1) * base_digits;
30         int ca = a.back();
31         while (ca)
32             ans++, ca /= 10;
33         return ans;
34     }
35     // 去前导零
36     void trim(){
37         while (!a.empty() && !a.back())
38             a.pop_back();
39         if (a.empty())
40             sign = 1;
41     }
42     bool isZero() const{
43         return a.empty() || (a.size() == 1 && !a[0]);
44     }
45     // 负号
46     bigint operator-() const{
47         bigint res = *this;
48         res.sign = -sign;
49         return res;
50     }
51     // 绝对值
52     bigint abs() const{
53         bigint res = *this;
54         res.sign *= res.sign;
55         return res;
56     }
57     // 转 Long Long
58     long long longValue() const{
59         long long res = 0;
60         for (int i = a.size() - 1; i >= 0; i--)
61             res = res * base + a[i];
62         return res * sign;
63     }
64     // 基本运算
65     // 幂
66     bigint operator^(const bigint &v){
67         bigint ans = 1, a = *this, b = v;
68         while (!b.isZero()){
69             if (b % 2)
70                 ans *= a;
71             a *= a, b /= 2;
```

```

72     }
73     return ans;
74 }
75 // 高精度加
76 bigint operator+(const bigint &v) const{
77     if (sign == v.sign){
78         bigint res = v;
79         for (int i = 0, carry = 0; i < (int) max(a.size(), v.a.size()) || carry; ++i){
80             if (i == (int) res.a.size())
81                 res.a.push_back(0);
82             res.a[i] += carry + (i < (int) a.size() ? a[i] : 0);
83             carry = res.a[i] >= base;
84             if (carry)
85                 res.a[i] -= base;
86         }
87         return res;
88     }
89     return *this - (-v);
90 }
91 // 高精度减
92 bigint operator-(const bigint &v) const{
93     if (sign == v.sign){
94         if (abs() >= v.abs()){
95             bigint res = *this;
96             for (int i = 0, carry = 0; i < (int) v.a.size() || carry; ++i){
97                 res.a[i] -= carry + (i < (int) v.a.size() ? v.a[i] : 0);
98                 carry = res.a[i] < 0;
99                 if (carry)
100                     res.a[i] += base;
101             }
102             res.trim();
103             return res;
104         }
105         return -(v - *this);
106     }
107     return *this + (-v);
108 }
109 // 高精度乘 前置函数
110 static vector<int> convert_base(const vector<int> &a, int old_digits, int new_digits){
111     vector<long long> p(max(old_digits, new_digits) + 1);
112     p[0] = 1;
113     for (int i = 1; i < (int) p.size(); i++)
114         p[i] = p[i - 1] * 10;
115     vector<int> res;
116     long long cur = 0;
117     int cur_digits = 0;
118     for (int i = 0; i < (int) a.size(); i++){
119         cur += a[i] * p[cur_digits];
120         cur_digits += old_digits;
121         while (cur_digits >= new_digits){
122             res.push_back(int(cur % p[new_digits]));
123             cur /= p[new_digits];
124             cur_digits -= new_digits;
125         }
126     }
127     res.push_back((int) cur);
128     while (!res.empty() && !res.back())
129         res.pop_back();
130     return res;
131 }
132 typedef vector<long long> vll;
133 // 高精度乘 前置函数
134 static vll karatsubaMultiply(const vll &a, const vll &b){
135     int n = a.size();
136     vll res(n + n);
137     if (n <= 32){
138         for (int i = 0; i < n; i++)
139             for (int j = 0; j < n; j++)
140                 res[i + j] += a[i] * b[j];
141         return res;
142     }
143     int k = n >> 1;
144     vll a1(a.begin(), a.begin() + k);
145     vll a2(a.begin() + k, a.end());
146     vll b1(b.begin(), b.begin() + k);
147     vll b2(b.begin() + k, b.end());
148     vll a1b1 = karatsubaMultiply(a1, b1);

```

```

149     vll a2b2 = karatsubaMultiply(a2, b2);
150     for (int i = 0; i < k; i++)
151         a2[i] += a1[i];
152     for (int i = 0; i < k; i++)
153         b2[i] += b1[i];
154     vll r = karatsubaMultiply(a2, b2);
155     for (int i = 0; i < (int) a1b1.size(); i++)
156         r[i] -= a1b1[i];
157     for (int i = 0; i < (int) a2b2.size(); i++)
158         r[i] -= a2b2[i];
159     for (int i = 0; i < (int) r.size(); i++)
160         res[i + k] += r[i];
161     for (int i = 0; i < (int) a1b1.size(); i++)
162         res[i] += a1b1[i];
163     for (int i = 0; i < (int) a2b2.size(); i++)
164         res[i + n] += a2b2[i];
165     return res;
166 }
167 // 高精度乘 需要两个前置函数
168 bigint operator*(const bigint &v) const{
169     vector<int> a6 = convert_base(this->a, base_digits, 6);
170     vector<int> b6 = convert_base(v.a, base_digits, 6);
171     vll a(a6.begin(), a6.end());
172     vll b(b6.begin(), b6.end());
173     while (a.size() < b.size())
174         a.push_back(0);
175     while (b.size() < a.size())
176         b.push_back(0);
177     while (a.size() & (a.size() - 1))
178         a.push_back(0), b.push_back(0);
179     vll c = karatsubaMultiply(a, b);
180     bigint res;
181     res.sign = sign * v.sign;
182     for (int i = 0, carry = 0; i < (int) c.size(); i++){
183         long long cur = c[i] + carry;
184         res.a.push_back((int) (cur % 1000000));
185         carry = (int) (cur / 1000000);
186     }
187     res.a = convert_base(res.a, 6, base_digits);
188     res.trim();
189     return res;
190 }
191 // 高精度除/取模 前置函数
192 friend pair<bigint, bigint> divmod(const bigint &a1, const bigint &b1){
193     int norm = base / (b1.a.back() + 1);
194     bigint a = a1.abs() * norm;
195     bigint b = b1.abs() * norm;
196     bigint q, r;
197     q.a.resize(a.a.size());
198     for (int i = a.a.size() - 1; i >= 0; i--){
199         r *= base;
200         r += a.a[i];
201         int s1 = r.a.size() <= b.a.size() ? 0 : r.a[b.a.size()];
202         int s2 = r.a.size() <= b.a.size() - 1 ? 0 : r.a[b.a.size() - 1];
203         int d = ((long long) base * s1 + s2) / b.a.back();
204         r -= b * d;
205         while (r < 0)
206             r += b, --d;
207         q.a[i] = d;
208     }
209     q.sign = a1.sign * b1.sign;
210     r.sign = a1.sign;
211     q.trim();
212     r.trim();
213     return make_pair(q, r / norm);
214 }
215 // 高精度除
216 bigint operator/(const bigint &v) const{
217     return divmod(*this, v).first;
218 }
219 // 高精度取模
220 bigint operator%(const bigint &v) const{
221     return divmod(*this, v).second;
222 }
223 void operator+=(const bigint &v){
224     *this = *this + v;
225 }

```

```

226 void operator--(const bigint &v){
227     *this = *this - v;
228 }
229 void operator*=(const bigint &v){
230     *this = *this * v;
231 }
232 void operator/=(const bigint &v){
233     *this = *this / v;
234 }
235 // 低精度乘
236 void operator*=(int v){
237     if (v < 0)
238         sign = -sign, v = -v;
239     for (int i = 0, carry = 0; i < (int) a.size() || carry; ++i){
240         if (i == (int) a.size())
241             a.push_back(0);
242         long long cur = a[i] * (long long) v + carry;
243         carry = (int) (cur / base);
244         a[i] = (int) (cur % base);
245     }
246     trim();
247 }
248 // 低精度乘
249 bigint operator*(int v) const{
250     bigint res = *this;
251     res *= v;
252     return res;
253 }
254 // 低精度除
255 void operator/=(int v){
256     if (v < 0)
257         sign = -sign, v = -v;
258     for (int i = (int) a.size() - 1, rem = 0; i >= 0; --i){
259         long long cur = a[i] + rem * (long long) base;
260         a[i] = (int) (cur / v);
261         rem = (int) (cur % v);
262     }
263     trim();
264 }
265 // 低精度除
266 bigint operator/(int v) const{
267     bigint res = *this;
268     res /= v;
269     return res;
270 }
271 // 低精度模
272 int operator%(int v) const{
273     if (v < 0)
274         v = -v;
275     int m = 0;
276     for (int i = a.size() - 1; i >= 0; --i){
277         m = (a[i] + m * (long long) base) % v;
278     }
279     return m * sign;
280 }
281 // 比较关系
282 bool operator<(const bigint &v) const{
283     if (sign != v.sign)
284         return sign < v.sign;
285     if (a.size() != v.a.size())
286         return a.size() * sign < v.a.size() * v.sign;
287     for (int i = a.size() - 1; i >= 0; i--){
288         if (a[i] != v.a[i])
289             return a[i] * sign < v.a[i] * sign;
290     }
291     return false;
292 }
293 bool operator>(const bigint &v) const{
294     return v < *this;
295 }
296 bool operator<=(const bigint &v) const{
297     return !(v < *this);
298 }
299 bool operator>=(const bigint &v) const{
300     return !(*this < v);
301 }
302 bool operator==(const bigint &v) const{
303     return !(*this < v) && !(v < *this);

```

```

303     }
304     bool operator!=(const bigint &v) const{
305         return *this < v || v < *this;
306     }
307     // 输入输出
308     void read(const string &s){
309         sign = 1;
310         a.clear();
311         int pos = 0;
312         while (pos < (int) s.size() && (s[pos] == '-' || s[pos] == '+')){
313             if (s[pos] == '-')
314                 sign = -sign;
315             ++pos;
316         }
317         for (int i = s.size() - 1; i >= pos; i -= base_digits){
318             int x = 0;
319             for (int j = max(pos, i - base_digits + 1); j <= i; j++){
320                 x = x * 10 + s[j] - '0';
321                 a.push_back(x);
322             }
323             trim();
324         }
325         friend istream& operator>>(istream &stream, bigint &v){
326             string s;
327             stream >> s;
328             v.read(s);
329             return stream;
330         }
331         friend ostream& operator<<(ostream &stream, const bigint &v){
332             if (v.sign == -1)
333                 stream << '-';
334             stream << (v.a.empty() ? 0 : v.a.back());
335             for (int i = (int) v.a.size() - 2; i >= 0; --i)
336                 stream << setw(base_digits) << setfill('0') << v.a[i];
337             return stream;
338         }
339         // 扩展功能
340         friend bigint gcd(const bigint &a, const bigint &b){
341             return b.isZero() ? a : gcd(b, a % b);
342         }
343         friend bigint lcm(const bigint &a, const bigint &b){
344             return a / gcd(a, b) * b;
345         }
346         friend bigint sqrt(const bigint &a1) {
347             bigint a = a1;
348             while (a.a.empty() || a.a.size() % 2 == 1)
349                 a.a.push_back(0);
350
351             int n = a.a.size();
352
353             int firstDigit = (int) sqrt((double) a.a[n - 1] * base + a.a[n - 2]);
354             int norm = base / (firstDigit + 1);
355             a *= norm;
356             a *= norm;
357             while (a.a.empty() || a.a.size() % 2 == 1)
358                 a.a.push_back(0);
359
360             bigint r = (long long) a.a[n - 1] * base + a.a[n - 2];
361             firstDigit = (int) sqrt((double) a.a[n - 1] * base + a.a[n - 2]);
362             int q = firstDigit;
363             bigint res;
364
365             for(int j = n / 2 - 1; j >= 0; j--) {
366                 for(; ; --q) {
367                     bigint r1 = (r - (res * 2 * base + q) * q) * base * base + (j > 0 ? (long long) a.a[2 * j - 1] * base + a.a[2 * j - 2] : 0);
368                     if (r1 >= 0) {
369                         r = r1;
370                         break;
371                     }
372                 }
373                 res *= base;
374                 res += q;
375
376                 if (j > 0) {
377                     int d1 = res.a.size() + 2 < r.a.size() ? r.a[res.a.size() + 2] : 0;
378                     int d2 = res.a.size() + 1 < r.a.size() ? r.a[res.a.size() + 1] : 0;
379                     int d3 = res.a.size() < r.a.size() ? r.a[res.a.size()] : 0;

```



```
380         q = ((long long) d1 * base * base + (long long) d2 * base + d3) / (firstDigit * 2);
381     }
382 }
383
384     res.trim();
385     return res / norm;
386 }
387 };
```

康托展开与逆展开

```
1  /// 康托展开.
2  /// 从一个排列映射到排列的 rank.
3  /// power : 阶乘数组.
4  //////////////////////////////////////
5  int power[21];
6  /// 康托展开, 排名从 0 开始.
7  /// 输入为字符串, 其中的字符根据 ascii 码比较大小.
8  /// 可以将该字符串替换成其它线性集合中的元素的排列.
9  int Cantor(const char* c, int len)
10 {
11     int res = 0;
12     for(int i=0; i<len; i++)
13     {
14         int rank = 0;
15         for(int j=i; j<len; j++) if(c[j] < c[i]) rank++;
16         res += rank * power[len - i - 1];
17     }
18     return res;
19 }
20 bool cused[21]; // 该数组大小应为字符集的大小.
21 /// 逆康托展开, 排名从 0 开始.
22 /// 输出排名为 rank 的, 长度为 len 的排列.
23 void RevCantor(int rank, char* c, int len)
24 {
25     for(int i=0; i<len; i++) cused[i] = false;
26     for(int i=0; i<len; i++)
27     {
28         int cnt = rank / power[len - i - 1];
29         rank %= power[len - i - 1];
30         cnt++;
31         int num = 0;
32         while(true)
33         {
34             if(!cused[num]) cnt--;
35             if(cnt == 0) break;
36             num++;
37         }
38         cused[num] = true;
39         c[i] = num + 'a'; // 输出字符串, 从 a 开始.
40     }
41 }
42 /// 阶乘数组初始化.
43 int main()
44 {
45     power[0] = power[1] = 1;
46     for(int i=0; i<20; i++) power[i] = i * power[i-1];
47     ...
48 }
```

快速乘

```
1 inline ll mul(ll a,ll b){
2     ll d=(ll)floor(a*(double)b/M+0.5);
3     ll ret=a*b-d*M;
4     if(ret<0)ret+=M;
5     return ret;
6 }
```

模拟退火

```

1  /// 模拟退火.
2  /// 可能需要魔法调参, 慎用!
3  /// Tbegin: 退火起始温度.
4  /// Tend: 退火终止温度.
5  /// rate: 退火比率.
6  /// 退火公式: rand_range(0, 1) > exp(dist / T), 其中 dist 为计算出的优化增量.
7  //////////////////////////////////////
8  srand(11212);
9  db Tbegin = 1e2;
10 db Tend = 1e-6;
11 db T = Tbegin;
12 db rate = 0.99995;
13 int tcnt = 0;
14 point mvbase = point(0.01, 0.01);
15 point curp = p[1];
16 db curmax = GetIntArea(curp);
17 while(T >= Tend)
18 {
19     // 生成一个新的解.
20     point nxtp = curp + point(
21         (randdb() - 0.5) * 2.0 * mvbase.x * T,
22         (randdb() - 0.5) * 2.0 * mvbase.y * T);
23     // 计算这个解的价值.
24     db v = GetIntArea(nxtp);
25     // 算出距离当前最优解有多远.
26     db dist = v - curmax;
27     if(dist > eps || (dist < -eps && randdb() > exp(dist / T)))
28     {
29         // 更新方案和答案.
30         curmax = v;
31         curp = nxtp;
32         tcnt++;
33     }
34     T *= rate;
35 }

```

魔法求递推式

```

1  #define rep(i,a,n) for (int i=a;i<n;i++)
2  #define per(i,a,n) for (int i=n-1;i>=a;i--)
3  #define pb push_back
4  #define mp make_pair
5  #define all(x) (x).begin(),(x).end()
6  #define fi first
7  #define se second
8  #define SZ(x) ((int)(x).size())
9  typedef vector<int> VI;
10 typedef long long ll;
11 typedef pair<int,int> PII;
12 const ll mod=1000000007;
13 ll powmod(ll a,ll b) {ll res=1;a%=mod; assert(b>=0); for(;;b>>=1){if(b&1)res=res*a%mod;a=a*a%mod;}return res;}
14 // head
15 int _;
16 ll n;
17 namespace linear_seq {
18     const int N=10010;
19     ll res[N],base[N],_c[N],_md[N];
20     vector<int> Md;
21     void mul(ll *a,ll *b,int k) {
22         rep(i,0,k+k) _c[i]=0;
23         rep(i,0,k) if (a[i]) rep(j,0,k) _c[i+j]=(_c[i+j]+a[i]*b[j])%mod;
24         for (int i=k+k-1;i>=k;i--) if (_c[i])
25             rep(j,0,SZ(Md)) _c[i-k+Md[j]]=(_c[i-k+Md[j]]-_c[i]*_md[Md[j]])%mod;
26         rep(i,0,k) a[i]=_c[i];
27     }
28     int solve(ll n,VI a,VI b) { // a 系数 b 初值 b[n+1]=a[0]*b[n]+...
29         ll ans=0,pnt=0;
30         int k=SZ(a);
31         assert(SZ(a)==SZ(b));
32         rep(i,0,k) _md[k-1-i]=-a[i];_md[k]=1;
33         Md.clear();
34         rep(i,0,k) if (_md[i]!=0) Md.push_back(i);
35         rep(i,0,k) res[i]=base[i]=0;

```

```

36     res[0]=1;
37     while ((1ll<<pnt)<=n) pnt++;
38     for (int p=pnt;p>=0;p--) {
39         mul(res,res,k);
40         if ((n>>p)&1) {
41             for (int i=k-1;i>=0;i--) res[i+1]=res[i];res[0]=0;
42             rep(j,0,SZ(Md)) res[Md[j]]=(res[Md[j]]-res[k]*_md[Md[j]])%mod;
43         }
44     }
45     rep(i,0,k) ans=(ans+res[i]*b[i])%mod;
46     if (ans<0) ans+=mod;
47     return ans;
48 }
49 VI BM(VI s) {
50     VI C(1,1),B(1,1);
51     int L=0,m=1,b=1;
52     rep(n,0,SZ(s)) {
53         ll d=0;
54         rep(i,0,L+1) d=(d+(1ll)C[i]*s[n-i])%mod;
55         if (d==0) ++m;
56         else if (2*L<=n) {
57             VI T=C;
58             ll c=mod-d*powmod(b,mod-2)%mod;
59             while (SZ(C)<SZ(B)+m) C.pb(0);
60             rep(i,0,SZ(B)) C[i+m]=(C[i+m]+c*B[i])%mod;
61             L=n+1-L; B=T; b=d; m=1;
62         } else {
63             ll c=mod-d*powmod(b,mod-2)%mod;
64             while (SZ(C)<SZ(B)+m) C.pb(0);
65             rep(i,0,SZ(B)) C[i+m]=(C[i+m]+c*B[i])%mod;
66             ++m;
67         }
68     }
69     return C;
70 }
71 int gao(VI a,ll n) {
72     VI c=BM(a);
73     c.erase(c.begin());
74     rep(i,0,SZ(c)) c[i]=(mod-c[i])%mod;
75     return solve(n,c,VI(a.begin(),a.begin()+SZ(c)));
76 }
77 };
78 int main() {
79     for (scanf("%d",&_);_-->0) {
80         scanf("%lld",&n);
81         printf("%d\n",linear_seq::gao(VI{x1,x2,x3,x4},n-1));
82     }
83 }

```

常用概念

欧拉路径

欧拉回路：每条边恰走一次的回路

欧拉通路：每条边恰走一次的路径

欧拉图：存在欧拉回路的图

半欧拉图：存在欧拉通路的图

有向欧拉图：每个点入度 = 出度

无向欧拉图：每个点度数为偶数

有向半欧拉图：一个点入度 = 出度 +1，一个点入度 = 出度-1，其他点入度 = 出度

无向半欧拉图：两个点度数为奇数，其他点度数为偶数

映射

[injective] or [one-to-one] 函数值不重复

[surjective] or [onto] 值域都被取到

[bijective] or [one-to-one correspondence] 一一对应

反演

反演中心 O , 反演半径 r , 点 p 的反演点 p' 满足 $|OP||OP'| = r^2$
不经过反演中心的直线, 反形为经过反演中心的圆
不经过反演中心的圆, 反形为圆, 反演中心为这两个互为反形的圆的位似中心

弦图

设 $next(v)$ 表示 $N(v)$ 中最前的点. 令 w^* 表示所有满足 $A \in B$ 的 w 中最后的一个点, 判断 $v \cup N(v)$ 是否为极大团, 只需判断是否存在一个 $w \in w^*$, 满足 $Next(w) = v$ 且 $|N(v)| + 1 \leq |N(w)|$ 即可.

五边形数

$$\prod_{n=1}^{\infty} (1 - x^n) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (1 - x^{2n+1}) x^{n(3n+1)/2}$$

pick 定理

整多边形面积 $A =$ 内部格点数 $i +$ 边上格点数 $\frac{b}{2} - 1$

重心

半径为 r , 圆心角为 θ 的扇形重心与圆心的距离为 $\frac{4r \sin(\theta/2)}{3\theta}$
半径为 r , 圆心角为 θ 的圆弧重心与圆心的距离为 $\frac{4r \sin^3(\theta/2)}{3(\theta - \sin(\theta))}$

曼哈顿距离与切比雪夫距离

曼哈顿距离:
 $dis = |x1 - x2| + |y1 - y2|$
切比雪夫距离:
 $dis = \max(|x1 - x2|, |y1 - y2|)$
manhattan to chebyshev
 $(x, y) \rightarrow (x + y, x - y)$
chebyshev to manhattan
 $(x, y) \rightarrow (\frac{x+y}{2}, \frac{x-y}{2})$

第二类 Bernoulli number

$$B_m = 1 - \sum_{k=0}^{m-1} \binom{m}{k} \frac{B_k}{m-k+1}$$
$$S_m(n) = \sum_{k=1}^n k^m = \frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m \binom{m+1}{k} B_k n^{m+1-k}$$

Fibonacci 数

$$F_n = \frac{\varphi^n - (-\varphi)^{-n}}{\sqrt{5}}, \varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$$
$$F_n = \lfloor \frac{\varphi^n}{\sqrt{5}} + \frac{1}{2} \rfloor$$

Catalan 数

$$C_{n+1} = \frac{2(2n+1)}{n+2} C_n$$
$$C_n = \frac{1}{n+1} \binom{2n}{n} = \frac{(2n)!}{(n+1)!n!}$$

前 20 项:1, 1, 2, 5, 14, 42, 132, 429, 1430, 4862, 16796, 58786, 208012, 742900, 2674440, 9694845, 35357670, 129644790, 477638700, 1767263190
所有的奇卡特兰数 C_n 都满足 $n = 2^k - 1$ 。所有其他的卡特兰数都是偶数

Lucas 定理

$C(n, m) \bmod p = C(n \bmod p, m \bmod p) * C(n/p, m/p), p$ 是质数

扩展 Lucas 定理

若 p 不是质数，将 p 分解质因数后分别求解，再用中国剩余定理合并

BEST theorem

有向图中欧拉回路的数量 $ec(G) = t_w(G) \prod_{v \in V} (\deg(v) - 1)!$.

其中 $\deg(v)$ 表示 v 的入度， $t_w(G)$ 表示以 w 为根的外向树的数量，且在连通欧拉图中以任一点为根的外向树数量相同

若需要定起点，则答案乘上 $\deg(s)$ ，表示对每一条欧拉回路， s 出现了 $\deg(s)$ 次，选取一个点切开得到一条从 s 出发的欧拉回路

欧拉示性数定理

对平面图 $V - E + F = 2$

最值反演 (MinMax 容斥)

$$\max\{S\} = \sum_{T \subseteq S} (-1)^{|T|-1} \min\{T\}$$

扩展到期望

$$E[\max\{S\}] = \sum_{T \subseteq S} (-1)^{|T|-1} E[\min\{T\}]$$

Polya 定理

设对 n 个对象用 m 种颜色： b_1, b_2, \dots, b_m 着色。

设 $m^{c(p_i)} = (b_1 + b_2 + \dots + b_m)^{c_1(p_i)} (b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_m^2)^{c_2(p_i)} \dots (b_1^n + b_2^n + \dots + b_m^n)^{c_n(p_i)}$ ，其中 $c_j(p_i)$ 表示置换群中第 i 个置换循环长度为 j 的个数。

设 $S_k = (b_1^k + b_2^k + \dots + b_m^k), k = 1, 2, \dots, n$ ，则波利亚计数定理的母函数形式为： $P(G) = \frac{1}{|G|} \sum_{j=1}^g \Pi_{k=1}^n S_k^{c_k(p_j)}$

Stirling 数

第一类： n 个元素的项目分作 k 个环排列的方法数目

$$s(n, k) = (-1)^{n+k} |s(n, k)|$$

$$|s(n, 0)| = 0$$

$$|s(1, 1)| = 1$$

$$|s(n, k)| = |s(n-1, k-1)| + (n-1) * |s(n-1, k)|$$

第二类： n 个元素的集定义 k 个等价类的方法数

$$S(n, 1) = S(n, n) = 1$$

$$S(n, k) = S(n-1, k-1) + k * S(n-1, k)$$

常用排列组合公式

$\sum_{i=1}^n x_i = k, x_i \geq 0$ 的解数为 $C(n+k-1, n-1)$

$x_1 \geq 0, x_i \leq x_{i+1}, x_n \leq k-1$ 的解数等价于在 $[0, k-1]$ 共 k 个数中可重复的取 n 个数的组合数，为 $C(n+k-1, n)$

三角公式

$$\sin(a \pm b) = \sin a \cos b \pm \cos a \sin b$$

$$\cos(a \pm b) = \cos a \cos b \mp \sin a \sin b$$

$$\tan(a \pm b) = \frac{\tan(a) \pm \tan(b)}{1 \mp \tan(a) \tan(b)}$$

$$\tan(a) \pm \tan(b) = \frac{\sin(a \pm b)}{\cos(a) \cos(b)}$$

$$\sin(a) + \sin(b) = 2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

$$\sin(a) - \sin(b) = 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \sin\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

$$\cos(a) + \cos(b) = 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

$$\cos(a) - \cos(b) = -2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \sin\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

$$\sin(na) = n \cos^{n-1} a \sin a - \binom{n}{3} \cos^{n-3} a \sin^3 a + \binom{n}{5} \cos^{n-5} a \sin^5 a - \dots$$

$$\cos(na) = \cos^n a - \binom{n}{2} \cos^{n-2} a \sin^2 a + \binom{n}{4} \cos^{n-4} a \sin^4 a - \dots$$

积分表

== 含有 $ax + b$ 的积分 ==

$$\int (ax + b)^n dx = \frac{(ax+b)^{n+1}}{a(n+1)} + C$$

$$\int \frac{1}{ax+b} dx = \frac{1}{a} \ln |ax + b| + C$$

$$\int \frac{x}{ax+b} dx = \frac{1}{a^2} (ax + b - b \ln |ax + b|) + C$$

$$\int \frac{x^2}{ax+b} dx = \frac{1}{2a^3} [(ax + b)^2 - 4b(ax + b) + 2b^2 \ln |ax + b|] + C$$

$$\int \frac{1}{x(ax+b)} dx = -\frac{1}{b} \ln \left| \frac{ax+b}{x} \right| + C$$

$$\int \frac{1}{x^2(ax+b)} dx = \frac{a}{b^2} \ln \left| \frac{ax+b}{x} \right| - \frac{1}{bx} + C$$

== 含有 $\sqrt{a + bx}$ 的积分 ==

$$\int x\sqrt{a + bx} dx = \frac{2}{15b^2} (3bx - 2a)(a + bx)^{\frac{3}{2}} + C$$

$$\int x^2\sqrt{a + bx} dx = \frac{2}{105b^3} (15b^2x^2 - 12abx + 8a^2)(a + bx)^{\frac{3}{2}} + C$$

$$\int x^n\sqrt{a + bx} dx = \frac{2}{b(2n+3)} x^n (a + bx)^{\frac{3}{2}} - \frac{2na}{b(2n+3)} \int x^{n-1}\sqrt{a + bx} dx$$

$$\int \frac{\sqrt{a+bx}}{x} dx = 2\sqrt{a + bx} + a \int \frac{1}{x\sqrt{a+bx}} dx$$

$$\int \frac{\sqrt{a+bx}}{x^n} dx = \frac{-1}{a(n-1)} \frac{(a+bx)^{\frac{3}{2}}}{x^{n-1}} - \frac{(2n-5)b}{2a(n-1)} \int \frac{\sqrt{a+bx}}{x^{n-1}} dx, n \neq 1$$

$$\int \frac{1}{x\sqrt{a+bx}} dx = \frac{1}{\sqrt{a}} \ln \left(\frac{\sqrt{a+bx} - \sqrt{a}}{\sqrt{a+bx} + \sqrt{a}} \right) + C, a > 0 = \frac{2}{\sqrt{-a}} \arctan \sqrt{\frac{a+bx}{-a}} + C, a < 0$$

$$\int \frac{1}{x^n\sqrt{a+bx}} dx = \frac{-1}{a(n-1)} \frac{\sqrt{a+bx}}{x^{n-1}} - \frac{(2n-3)b}{2a(n-1)} \int \frac{1}{x^{n-1}\sqrt{a+bx}} dx, n \neq 1$$

== 含有 $x^2 \pm \alpha^2$ 的积分 ==

$$\int \frac{1}{x^2 + \alpha^2} dx = \frac{\arctan \frac{x}{\alpha}}{\alpha} + C$$

$$\int \frac{1}{\pm x^2 \mp \alpha^2} dx = \frac{\ln \left(\frac{x \mp \alpha}{\pm x + \alpha} \right)}{2\alpha} + C$$

== 含有 $ax^2 + b$ 的积分 ==

$$\int \frac{1}{ax^2 + b} dx = \frac{1}{\sqrt{ab}} \arctan \frac{\sqrt{a}x}{\sqrt{b}} + C$$

== 含有 $ax^2 + bx + c$ ($a > 0$) 的积分 ==

$$\int ax^2 + bx + c dx = \frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx + C$$

== 含有 $\sqrt{a^2 + x^2}$ ($a > 0$) 的积分 ==

$$\int \sqrt{a^2 + x^2} dx = \frac{1}{2} x \sqrt{a^2 + x^2} + \frac{1}{2} a^2 \ln (x + \sqrt{a^2 + x^2}) + C$$

$$\int x^2 \sqrt{a^2 + x^2} dx = \frac{1}{8} x (a^2 + 2x^2) \sqrt{a^2 + x^2} - \frac{1}{8} a^4 \ln (x + \sqrt{a^2 + x^2}) + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{x} dx = \sqrt{a^2 + x^2} - a \ln \left(\frac{a + \sqrt{a^2 + x^2}}{x} \right) + C$$

$$\int \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{x^2} dx = \ln (x + \sqrt{a^2 + x^2}) - \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{x} + C$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} dx = \ln (x + \sqrt{a^2 + x^2}) + C$$

$$\int \frac{x^2}{\sqrt{a^2 + x^2}} dx = \frac{1}{2} x \sqrt{a^2 + x^2} - \frac{1}{2} a^2 \ln (\sqrt{a^2 + x^2} + x) + C$$

$$\int \frac{1}{x\sqrt{a^2 + x^2}} dx = \frac{1}{a} \ln \left(\frac{x}{a + \sqrt{a^2 + x^2}} \right) + C$$

$$\int \frac{1}{x^2 \sqrt{a^2 + x^2}} dx = -\frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{a^2 x} + C$$

== 含有 $\sqrt{x^2 - a^2}$ ($x^2 > a^2$) 的积分 =

$$\begin{aligned}
 & \int \frac{1}{\sqrt{x^2-a^2}} dx = \ln |x + \sqrt{x^2-a^2}| + C \\
 & == \text{含有 } \sqrt{a^2-x^2} \quad (a^2 > x^2) \text{ 的积分} == \\
 & \int \frac{1}{\sqrt{a^2-x^2}} dx = \arcsin \frac{x}{a} + C = -\arccos \frac{x}{a} + C \\
 & \int \sqrt{a^2-x^2} dx = \frac{1}{2} x \sqrt{a^2-x^2} + \frac{a^2}{2} \arcsin \frac{x}{a} + C \\
 & \int x^2 \sqrt{a^2-x^2} dx = \frac{1}{8} x (2x^2-a^2) \sqrt{a^2-x^2} + \frac{1}{8} a^4 \arcsin \frac{x}{a} + C \\
 & \int \frac{\sqrt{a^2-x^2}}{x} dx = \sqrt{a^2-x^2} - a \ln \left(\frac{a+\sqrt{a^2-x^2}}{x} \right) + C \\
 & \int \frac{\sqrt{a^2-x^2}}{x^2} dx = -\frac{\sqrt{a^2-x^2}}{x} - \arcsin \frac{x}{a} + C \\
 & \int \frac{1}{x \sqrt{a^2-x^2}} dx = -\frac{1}{a} \ln \left(\frac{a+\sqrt{a^2-x^2}}{x} \right) + C \\
 & \int \frac{x^2}{\sqrt{a^2-x^2}} dx = -\frac{1}{2} x \sqrt{a^2-x^2} + \frac{1}{2} a^2 \arcsin \frac{x}{a} + C \\
 & \int \frac{1}{x^2 \sqrt{a^2-x^2}} dx = -\frac{\sqrt{a^2-x^2}}{a^2 x} + C \\
 & == \text{含有 } R = \sqrt{|a|x^2+bx+c} \quad (a \neq 0) \text{ 的积分} == \\
 & \int \frac{dx}{R} = \frac{1}{\sqrt{a}} \ln (2\sqrt{a}R + 2ax + b) \quad (\text{for } a > 0) \\
 & \int \frac{dx}{R} = \frac{1}{\sqrt{a}} \operatorname{arsinh} \frac{2ax+b}{\sqrt{4ac-b^2}} \quad (\text{for } a > 0, 4ac-b^2 > 0) \\
 & \int \frac{dx}{R} = \frac{1}{\sqrt{a}} \ln |2ax+b| \quad (\text{for } a > 0, 4ac-b^2 = 0) \\
 & \int \frac{dx}{R} = -\frac{1}{\sqrt{-a}} \arcsin \frac{2ax+b}{\sqrt{b^2-4ac}} \quad (\text{for } a < 0, 4ac-b^2 < 0, (2ax+b) < \sqrt{b^2-4ac}) \\
 & \int \frac{dx}{R^3} = \frac{4ax+2b}{(4ac-b^2)R} \\
 & \int \frac{dx}{R^5} = \frac{4ax+2b}{3(4ac-b^2)R} \left(\frac{1}{R^2} + \frac{8a}{4ac-b^2} \right) \\
 & \int \frac{dx}{R^{2n+1}} = \frac{2}{(2n-1)(4ac-b^2)} \left[\frac{2ax+b}{R^{2n-1}} + 4a(n-1) \int \frac{dx}{R^{2n-1}} \right] \\
 & \int \frac{x}{R} dx = \frac{R}{a} - \frac{b}{2a} \int \frac{dx}{R} \\
 & \int \frac{x}{R^3} dx = -\frac{2bx+4c}{(4ac-b^2)R} \\
 & \int \frac{x}{R^{2n+1}} dx = -\frac{1}{(2n-1)aR^{2n-1}} - \frac{b}{2a} \int \frac{dx}{R^{2n+1}} \\
 & \int \frac{dx}{xR} = -\frac{1}{\sqrt{c}} \ln \left(\frac{2\sqrt{c}R+bx+2c}{x} \right) \\
 & \int \frac{dx}{xR} = -\frac{1}{\sqrt{c}} \operatorname{arsinh} \left(\frac{bx+2c}{|x|\sqrt{4ac-b^2}} \right) \\
 & == \text{含有三角函数的积分} == \\
 & \int \cos x dx = \sin x + C \\
 & \int \sin x dx = -\cos x + C \\
 & \int \sec^2 x dx = \tan x + C \\
 & \int \csc^2 x dx = -\cot x + C \\
 & \int \sec x \tan x dx = \sec x + C \\
 & \int \csc x \cot x dx = -\csc x + C \\
 & \int \tan x dx = -\ln |\cos x| + C = \ln |\sec x| + C \\
 & \int \cot x dx = \ln |\sin x| + C \\
 & \int \sec x dx = \ln |\sec x + \tan x| + C \\
 & \int \csc x dx = -\ln |\csc x + \cot x| + C = \ln \left| \frac{\tan x - \sin x}{\sin x \tan x} \right| + C \\
 & \int \sin^n x dx = -\frac{1}{n} \sin^{n-1} x \cos x + \frac{n-1}{n} \int \sin^{n-2} x dx + C \quad \forall n \geq 2 \\
 & \int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin 2x}{4} + C \\
 & \int \cos^n x dx = \frac{1}{n} \cos^{n-1} x \sin x + \frac{n-1}{n} \int \cos^{n-2} x dx + C \quad \forall n \geq 2 \\
 & \int \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{\sin 2x}{4} + C \\
 & \int \tan^n x dx = \frac{1}{n-1} \tan^{n-1} x - \int \tan^{n-2} x dx + C \quad \forall n \geq 2 \\
 & \int \tan^2 x dx = \tan x - x + C \\
 & \int \cot^n x dx = \frac{1}{n-1} \cot^{n-1} x - \int \cot^{n-2} x dx + C \quad \forall n \geq 2 \\
 & \int \cot^2 x dx = -\cot x - x + C \\
 & \int \sec^n x dx = \frac{1}{n-1} \sec^{n-2} x \tan x + \frac{n-2}{n-1} \int \sec^{n-2} x dx + C \quad \forall n \geq 2 \\
 & \int \csc^n x dx = -\frac{1}{n-1} \csc^{n-2} x \cot x + \frac{n-2}{n-1} \int \csc^{n-2} x dx + C \quad \forall n \geq 2 \\
 & == \text{含有反三角函数的积分} == \\
 & \int \arcsin x dx = x \arcsin x + \sqrt{1-x^2} + C
 \end{aligned}$$

$$\int \arccos x dx = x \arccos x - \sqrt{1-x^2} + C$$

$$\int \arctan x dx = x \arctan x - \ln \sqrt{1+x^2} + C$$

$$\int \operatorname{arccot}(x) dx = x \times \operatorname{arccot}(x) + \ln \sqrt{1+x^2} + C$$

$$\int \operatorname{arcsec}(x) dx = x \times \operatorname{arcsec}(x) - \operatorname{sgn}(x) \ln |x + \sqrt{x^2-1}| + C = x \times \operatorname{arcsec}(x) + \operatorname{sgn}(x) \ln |x - \sqrt{x^2-1}| + C$$

$$\int \operatorname{arccsc}(x) dx = x \times \operatorname{arccsc}(x) + \operatorname{sgn}(x) \ln |x + \sqrt{x^2-1}| + C = x \times \operatorname{arccsc}(x) - \operatorname{sgn}(x) \ln |x - \sqrt{x^2-1}| + C$$

== 含有指数函数的积分 ==

$$\int e^x dx = e^x + C$$

$$\int \alpha^x dx = \frac{\alpha^x}{\ln \alpha} + C$$

$$\int x e^{ax} dx = \frac{1}{a^2} (ax - 1) e^{ax} + C$$

$$\int x^n e^{ax} dx = \frac{1}{a} x^n e^{ax} - \frac{n}{a} \int x^{n-1} e^{ax} dx$$

$$\int e^{ax} \sin bx dx = \frac{e^{ax}}{a^2+b^2} (a \sin bx - b \cos bx) + C$$

$$\int e^{ax} \cos bx dx = \frac{e^{ax}}{a^2+b^2} (a \cos bx + b \sin bx) + C$$

== 含有对数函数的积分 ==

$$\int \ln x dx = x \ln x - x + C$$

$$\int \log_{\alpha} x dx = \frac{1}{\ln \alpha} (x \ln x - x) + C$$

$$\int x^n \ln x dx = \frac{x^{n+1}}{(n+1)^2} [(n+1) \ln x - 1] + C$$

$$\int \frac{1}{x \ln x} dx = \ln(\ln x) + C$$

== 含有双曲函数的积分 ==

$$\int \sinh x dx = \cosh x + C$$

$$\int \cosh x dx = \sinh x + C$$

$$\int \tanh x dx = \ln(\cosh x) + C$$

$$\int \coth x dx = \ln(\sinh x) + C$$

$$\int \operatorname{sech} x dx = \arcsin(\tanh x) + C = \arctan(\sinh x) + C$$

$$\int \operatorname{csch} x dx = \ln\left(\tanh \frac{x}{2}\right) + C$$

== 定积分 ==

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^n x dx =$$

$$\begin{cases} \frac{n-1}{n} \cdot \frac{n-3}{n-2} \cdot \dots \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{2}{3}, & \text{if } n > 1 \text{ 且 } n \text{ 为奇数} \\ \frac{n-1}{n} \cdot \frac{n-3}{n-2} \cdot \dots \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{2}, & \text{if } n > 0 \text{ 且 } n \text{ 为偶数} \end{cases}$$