arXiv:2304.04328v1 [math.AC] 9 Apr 2023

单纯复形上的多项式函数代数的德拉姆上同调

伊戈尔·巴斯科夫

Abstract. 我们考察单纯复形 X 上的多项式函数代数 $A^0(X)$。代数 $A^0(X)$ 是 Sullivan 关于 X 上多项式形式的微分分次代数 $A^\bullet(X)$ 的第 0 个分量。所有代数均定义在任意特征为 0 的域 k 上。

我们的主要兴趣在于计算代数$A^0(X)$的德拉姆上同调，即万有微分分次代数$\Omega^\bullet_{A^0(X)}$的上同调。存在一个微分分次代数的典范态射 $P\colon \Omega^\bullet_{A^0(X)} \to A^\bullet(X)$。我们证明 P是一个拟同构。因此，代数$A^0(X)$的德拉姆上同调与单纯复形X 的、系数在 k中的上同调典范同构。此外，对于 $k = \mathbb{Q}$，微分分次代数 $\Omega^\bullet_{A^0(X)}$ 是有理同伦论意义下单纯复形 X 的一个模型。我们的结果表明，对于代数 $A^0(X)$, Grothendieck 比较定理的结论成立。

1. Introduction

所有代数和微分分次代数都是特征为0 的域 k 上的交换代数。在 [13, 第 7] 节中，Sullivan引入了单纯复形 X上的多项式形式微分分次代数 $A^\bullet(X)$。$A^\bullet(X)$的零次元素代数 $A^0(X)$是 X上的多项式函数代数。微分分次代数 $A^\bullet(X)$的上同调同构于 $H^\bullet(X,k)$。人们可以问，哪些自然的微分分次代数与 $A^\bullet(X)$弱等价。其中一个候选是定义在 X上的多项式函数代数 $A^0(X)$上的万有微分分次代数$\Omega^\bullet_{A^0(X)}$。存在一个微分分次代数的典范态射 $P\colon\Omega^\bullet_{A^0(X)} \to A^\bullet(X)$。

主要结果是定理 5 .2, 其中我们证明 P 是一个拟 -同构

在 [10] 中，作者证明了态射 P是满射，并给出了其核的描述。在 [6] 和 [12, 附录 G(i)] 中，给出了核的另一种描述。在 [7, 例 3.8]中，G´omez 证明了态射 P 不是拟同构，这与我们的主要结果定理 5.2 相矛盾。我们在注记 5.3 中纠正了 G´omez 的错误计算。

Grothendieck 证明，对于光滑的 $\mathbb{C}$-代数 A，代数 de Rham 复形 $\Omega^\bullet_A$ 的上同调群与空间 Spec A 在复解析拓扑下的上同调群同构，参见 [9, 定理 1]。代数$A^0(X)$ 一般并不光滑，Grothendieck 的结果对一般代数并不成立，参见 [1, 例 4.4]。

本研究得到俄罗斯联邦科学与高等教育部的资助，协议编号为075-15-2019-1620，日期为 08/11/2019；协议编号为075-15-2022-289，日期为06/04/2022。1

本文的结果可用于为多面体上的分片多项式函数代数的类似结果提供另一种证明；该结果由 [2, 定理 51] 给出。

致谢。感谢 Sem¨en Podkorytov 博士给予我的巨大帮助、富有成效的讨论，以及为证明该结果而考虑 Čech 分辨的想法。感谢俄罗斯科学院斯捷克洛夫数学研究所圣彼得堡分部提供的资助。

2. Simplicial complexes

定义 2.1。若由有限集 E 的有限个非空子集组成的集合 X 满足：对每个 $v \in E$，都有 $\{v\} \in X$；并且对每个 $s \in X$ 及每个非空子集 $s' \subset s$，都有 $s' \in X$，则称 X 为单纯复形。我们用 $V(X)$ 表示集合 E，并称其元素为 X 的顶点。基数为 $m+1$ 的集合 $s \in X$ 称为 m-单形。若对每个 $s \in Y$ 都有 $s \in X$，则称单纯复形 Y 是 X 的子复形。

我们用 $T_p(X)$ 表示 X 中所有满足 $p \geq -1$ 的顶点序列 $u = (u_0, \ldots, u_p)$ 的集合。我们用 $\partial_i u$ 表示序列 $(u_0, \ldots, \widehat{u_i}, \ldots, u_p)$。对于顶点 v，我们用 $v * u$ 表示序列 $(v, u_0, \ldots, u_p)$。对称群 Σ_{p+1} 作用于 $T_p(X)$。

考虑顶点序列 $u \in T_p(X)$。我们将星形邻域 u 称为 u的星形邻域，即包含所有含有顶点 u_i的单纯形的 X 的最小子复形。如果 $p = -1$，则有星形邻域 $u = X$。如果序列 u 在 X中张成一个单纯形，则星形邻域 u 就是该单纯形的星形邻域。如果 $p \geq 0$ 且序列 u 不张成单纯形，则有星形邻域 $u = \varnothing$。对于 X 的子复形 Y，我们将星形邻域 ${}_Y u$ 称为包含所有含有顶点 u_i 的单纯形的 Y 的最小子复形。如果 $u \notin T_p(Y)$，则有星形邻域 ${}_Y u = \varnothing$。

3. Sullivan's dg-algebra of polynomial forms

对于单纯复形 X，我们按照 Sullivan 的方法定义微分分次代数 $A^\bullet(X)$，参见 [13, 第 7], [8]节。对于一个 m-单纯形 a，考虑微分分次代数

$$A^\bullet(a) := \frac{\Lambda\left(t_v, dt_v \mid \deg(t_v) = 0, \deg(dt_v) = 1, v \in a\right)}{\left(\sum_{v \in a} t_v - 1, \sum_{v \in a} dt_v\right)}$$

其微分为 $t_v \mapsto dt_v$，其中 $v \in a$。

对于满足 $b \subset a$ 的单形 b，存在一个自然的微分分次代数态射

$$|_b : A^\bullet(a) \to A^\bullet(b), \qquad t_v \mapsto \begin{cases} 0, & v \notin b, \\ t_v, & v \in b. \end{cases}$$

于是，$A^\bullet(X)$ 的一个元素 $\omega = (\omega_a)_{a \in X}$ 是由元素 $\omega_a \in A^\bullet(a)$ 组成的集合，并且对于两个单形 $b \subset a$，有 $\omega_a|_b = \omega_b$。

我们称代数 $A^0(X)$为 X上的多项式函数代数。这个代数还可以描述为 Stanley-Reisner 代数的一个商，参见 [3]。

单纯复形的包含关系 $Y \subset X$ 会导出微分分次代数的限制态射

$$|_Y : A^\bullet(X) \to A^\bullet(Y).$$

引理 3.1. 上述限制态射是满射。

证明。这个事实相当不平凡，参见 [13, 第 7]节。

□

我们如下引入双重分次向量空间 $\mathcal{D}^{p,q}$, $p,q \in \mathbb{Z}$ 。对于$p \leq -2$ ，令 $\mathcal{D}^{p,q} = 0$ ；对于 $p \geq -1$，我们将 $\mathcal{D}^{p,q}$ 定义为.....的子空间

$$\prod_{u \in T_p(X)} A^q(\operatorname{St} u)$$

由形式族 $\omega_u \in A^q$(星形邻域 u)组成，使得对于任意 $\sigma \in \Sigma_{p+1}$ 我们有

$$\omega_{\sigma u} = (\operatorname{sgn} \sigma)\omega_u.$$

我们定义线性映射

$$\delta : \mathcal{D}^{p,q} \to \mathcal{D}^{p+1,q}.$$

对于 $p \geq -1$ 和对于

$$\omega = (\omega_u)_{u \in T_p(X)} \in \mathcal{D}^{p,q}$$

我们将 $\delta\omega$ 在 $s \in T_{p+1}(X)$ 上的值设为

$$(\delta\omega)_s = \sum_{i=0}^{p+1} (-1)^i \omega_{\partial_i s}|_{\operatorname{St} s}.$$

d 上的微分 $A^\bullet$（星形邻域 u）导出 $\mathcal{D}^{p,\bullet}$ 上的微分 d ，对每个 p都成立。

命题 3.2。映射 δ 是 $\mathcal{D}^{\bullet,q}$ 上的一个微分，对每个 $q \in \mathbb{Z}$都成立。此外，双重分次向量空间 $\mathcal{D}^{\bullet,\bullet}$ 连同 δ 和 d 构成一个双复形，亦即 $d\delta = \delta d$。

命题 3.3。复形

$$\begin{array}{ccccccccc} 0 & \longrightarrow & \mathcal{D}^{-1,q} & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{D}^{0,q} & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{D}^{1,q} & \xrightarrow{\delta} & \cdots \\ & & \| & & & & & & \\ & & A^q(X) & & & & & & \end{array}$$

是恰当的。

证明。证明与下面命题 4.6 的证明类似，并且依赖于引理 3.1。在这种情况下，可以使用单位分解 $t_v, v \in V(X)$，而非 $\rho_v, v \in V(X)$。□

4. The dg-algebra of de Rham forms

对于一个 k-代数 A ，可以关联交换的微分分次代数$\Omega^\bullet_A$ ([11, 定-理 3.2])，其具有$\Omega^0_A = A$。它具有如下泛性质：对于任意微分分次代数$E^\bullet$ 以及任意代数同态 $f : A \to E^0$ ，存在唯一的微分分次代数态射 $F\colon \Omega^\bullet_A \to E^\bullet$，使得 $F|_A = f$:

$$\begin{array}{ccc} A & \longrightarrow & \Omega^\bullet_A \\ & \searrow^{f} & \downarrow{\scriptstyle F} \\ & & E^\bullet. \end{array}$$

Ω^q_A 中的元素称为代数 q-形式。微分分次代数$\Omega^\bullet_A$ 关于代数 A是协变的。我们将简单地把微分分次代数 $\Omega^\bullet_{A^0(X)}$记作 $\Omega^\bullet(X)$。

单纯复形的包含关系 $Y \subset X$ 导出了微分分次代数的限制态射

$$|_Y : \Omega^\bullet(X) \to \Omega^\bullet(Y).$$

引理4.1。假设 A 和 B 是 k-代数，且 φ: $A \to B$ 是代数的满同态。则诱导态射 $\Omega\varphi$: $\Omega^\bullet_A \to \Omega^\bullet_B$ 是满射，其核是由核φ 和 d(核φ)生成的 $\Omega^\bullet_A$ 的理想。

由此以及引理 3.1 可知，对于单纯复形$Y \subset X$ 的包含关系，限制态射 $|_Y$: $\Omega^\bullet(X) \to \Omega^\bullet(Y)$ 是满射。

证明。参见 [2, 引理 6]。 □

引入以下元素 t_v 属于 $A^0(X)$。对于一个顶点 $v \in V(X)$和一个 m-单纯形 $a \in X$，令$(t_v)_a = 0$，若 $v \notin a$ 且 $(t_v)_a = t_v \in A^0(a)$，若 $v \in a$。

引理4.2.取一个单纯复形 X 和一个子复形 $Y \subset X$。假设$\omega \in \Omega^q(Y)$满足 $\omega|_{\mathrm{St}_Y(v)} = 0$ 对于一个顶点 $v \in V(X)$。那么 $t_v^2|_Y\, \omega = 0$。

证明。首先，如果 $v \notin V(Y)$，那么 $t_v|_Y = 0$，结论即得。

假设 $v \in V(Y)$。由引理 3.1 和引理 4.1，形式 ω属于由满足其在 $\mathrm{St}_Y(v)$上的限制为零的元素 $m \in A^0(X)$生成的 $\Omega^\bullet(X)$的微分分次理想 I，因此 $t_v|_Y\, m = 0$。只需考虑情形 $\omega = m$ 和$\omega = dm$。我们有 $t_v^2|_Y\, m = 0$且 $t_v^2|_Y\, dm = t_v|_Y\, d(t_v|_Y\, m) - t_v|_Y\, m dt_v|_Y = 0$。□

我们如下引入双重分次向量空间 $\mathcal{C}^{p,q}, p, q \in \mathbb{Z}$。对于 $p \le -2$，令 $\mathcal{C}^{p,q} = 0$；对于 $p \ge -1$，我们将 $\mathcal{C}^{p,q}$ 定义为.....的子空间

$$\prod_{u \in T_p(X)} \Omega^q(\mathrm{St}\, u)$$

由形式族 $\omega_u \in \Omega^q(\mathrm{St}\, u)$ 构成，使得对于任意 $\sigma \in \Sigma_{p+1}$，都有

$$\omega_{\sigma u} = (\mathrm{sgn}\, \sigma)\omega_u.$$

我们定义线性映射

$$\delta : \mathcal{C}^{p,q} \to \mathcal{C}^{p+1,q}.$$

对于 $p \ge -1$ 以及对于

$$\omega = (\omega_u)_{u \in T_p(X)} \in \mathcal{C}^{p,q}$$

我们将 $\delta\omega$ 在 $s \in T_{p+1}(X)$ 上的取值定义为

$$(\delta\omega)_s = \sum_{i=0}^{p+1} (-1)^i \omega_{\partial_i s}|_{\mathrm{St}\, s}.$$

$\Omega^\bullet(\mathrm{St}\, u)$ 上的微分 d 在 $\mathcal{C}^{p,\bullet}$ 上诱导出微分 d，对每个 p 都成立。

命题 4.3. 映射 δ 是 $\mathcal{C}^{\bullet,q}$ 上的微分，对每个 $q \in \mathbb{Z}$ 都成立。此外，双重分次向量空间 $\mathcal{C}^{\bullet,\bullet}$ 与 δ 和 d 一起构成一个双复形，其意义为 $d\,\delta = \delta\, d$。

引理 4.4. 存在元素 $p_v \in A^0(X)$ $v \in V(X)$，使得

$$\sum_{v \in V(X)} p_v t_v^2 = 1.$$

证明. 在 $A^0(X)$ 中有等式

$$\sum_{v\in V(X)} t_v = 1.$$

将等式两边提升到足够大的幂，即可得到所需的等式。 □

我们令 $\rho_v = p_v t_v^2$。

对于单纯复形的包含关系 $Y \subset X$，我们选择一个线性映射，即特殊的“延拓”，

$$[-] : \Omega^q(Y) \to \Omega^q(X),$$

使得 $[\omega]|_Y = \omega$。根据将引理3.1 应用于 $A^0(X)$ 以及引理 4.1，可知此类延拓存在。

引理4.5.对于单纯复形的一个包含关系 $Y \subset X$ 以及一个形式 $\omega \in \Omega^q(Y)$，我们有

$$\sum_{v\in V(X)} \rho_v [\omega|_{\mathrm{St}_Y(v)}]|_Y = \omega.$$

证明。由于 $\sum_v \rho_v = 1$ 属于 $A^0(X)$，我们有

$$\sum_{v\in V(X)} \rho_v [\omega|_{\mathrm{St}_Y(v)}]|_Y - \omega = \sum_{v\in V(X)} \rho_v|_Y \left([\omega|_{\mathrm{St}_Y(v)}]|_Y - \omega\right).$$

我们有

$$\left([\omega|_{\mathrm{St}_Y(v)}]|_Y - \omega\right)|_{\mathrm{St}_Y(v)} = \omega|_{\mathrm{St}_Y(v)} - \omega|_{\mathrm{St}_Y(v)} = 0.$$

因此，由引理 4.2 可得 $\rho_v|_Y \left([\omega|_{\mathrm{St}_Y(v)}]|_Y - \omega\right) = 0$。 □

命题 4.6。该复形

$$\begin{array}{ccccccccc} 0 & \longrightarrow & \mathcal{C}^{-1,q} & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{C}^{0,q} & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{C}^{1,q} & \xrightarrow{\delta} & \dots \\ & & \| & & & & & & \\ & & \Omega^q(X) & & & & & & \end{array} .$$

是恰当的。

证明遵循 [4, 命题 8.5]的证明。

证明。首先，注意到

$$\mathrm{St}\, v * u = \mathrm{St}_{\mathrm{St}\, u}(v).$$

对于 $u \in T_p(X)$ 和 $\omega \in \Omega^q$(星形邻域 u)，由引理 4.5 可得

$$\sum_{v\in V(X)} \rho_v [\omega|_{\mathrm{St}\, v*u}]|_{\mathrm{St}\, u} = \omega. \tag{1}$$

对于 $\omega \in \Omega^q(Z)$，其中 Z 是 X 的子复形，且星形邻域 $v * u \subset Z$，由引理 4.2 可得

$$\rho_v \left([\omega] - [\omega|_{\mathrm{St}\, v*u}]\right)|_{\mathrm{St}\, u} = 0. \tag{2}$$

我们构造一个余链同伦

$$K : \mathcal{C}^{p,q} \to \mathcal{C}^{p-1,q}.$$

对于 $p \geq 0$ 和 $\omega \in \mathcal{C}^{p,\,q}$ 和 $w \in T_{p-1}(X)$ 令

$$(K\omega)_w := \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\omega_{v*w}]|_{\mathrm{St}\, w}.$$

根据引理 4.2，此映射不依赖于所选的指定延拓。

让我们验证 $\delta K + K\delta = 1$。对于 $p \geq -1$ 和

$$\omega = (\omega_u)_{u \in T_p(X)} \in \mathcal{C}^{p,q} \subset \prod_{u \in T_p(X)} \Omega^q(\mathrm{St}\, u),$$

其中 $\omega_u \in \Omega^q(\mathrm{St}\, u)$，我们有

$$(\delta K\omega)_u = \sum_{i=0}^{p} (-1)^i (K\omega)_{\partial_i u}|_{\mathrm{St}\, u} = \sum_{i=0}^{p} (-1)^i \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\omega_{v*\partial_i u}]|_{\mathrm{St}\, u},$$

and

$$(K\delta\omega)_u = \sum_{v \in V(X)} \rho_v[(\delta\omega)_{v*u}]|_{\mathrm{St}\, u} =$$

$$= \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\sum_{i=0}^{p+1} (-1)^i \omega_{\partial_i(v*u)}|_{\mathrm{St}\, v*u}]|_{\mathrm{St}\, u} =$$

$$= \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\omega_u|_{\mathrm{St}\, v*u}]|_{\mathrm{St}\, u} + \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\sum_{i=1}^{p+1} (-1)^i \omega_{\partial_i(v*u)}|_{\mathrm{St}\, v*u}]|_{\mathrm{St}\, u} \overset{\text{by (1)}}{=}$$

$$= \omega_u - \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\sum_{i=0}^{p} (-1)^i \omega_{v*\partial_i u}|_{\mathrm{St}\, v*u}]|_{\mathrm{St}\, u}$$

$$= \omega_u - \sum_{i=0}^{p} (-1)^i \sum_{v \in V(X)} \rho_v[\omega_{v*\partial_i u}|_{\mathrm{St}\, v*u}]|_{\mathrm{St}\, u}.$$

因此，

$$((\delta K + K\delta)\omega)_u = \omega_u + \sum_{i=0}^{p} (-1)^i \sum_{v \in V(X)} \rho_v \left([\omega_{v*\partial_i u}] - [\omega_{v*\partial_i u}|_{\mathrm{St}\, v*u}]\right)|_{\mathrm{St}\, u} \overset{\text{by (2)}}{=} \omega_u.$$

□

5. The morphism $P\colon \Omega^\bullet(X) \to A^\bullet(X)$

对于单纯复形 X，根据 $\Omega^\bullet(X)$ 的泛性质，存在一个典范的微分分次代数态射

$$P : \Omega^\bullet(X) \to A^\bullet(X),$$

which is the identity in degree 0.

我们将 $k[0]$ 记为这样一个复形：第0项为 k，其余项为零。k 中的一个元素在 $A^0(X)$中给出一个常值函数，因此，存在复形态射 $\epsilon\colon k[0] \to \Omega^\bullet(X)$和 $\bar{\epsilon}\colon k[0] \to A^\bullet(X)$，使得 $\bar{\epsilon} = P \circ \epsilon$。

命题 5.1. 对于序列 $u \in T_p(X)$, $p \geq 0$, 交换图表

$$\begin{array}{ccc} k[0] & \xrightarrow{\epsilon} & \Omega^\bullet(\mathrm{St}\, u) \\ & \searrow^{\bar{\epsilon}} & \downarrow P \\ & & A^\bullet(\mathrm{St}\, u) \end{array}$$

由拟同构组成。

证明。映射 ϵ 是由 [2, 推论 47]得出的拟同构。映射 $\bar{\epsilon}$ 是由 [5, 定理 10.9]得出的拟同构。因此, 态射 P 是拟同构。

□

定理 5.2. 自然映射

$$P : \Omega^\bullet(X) \to A^\bullet(X)$$

是一个拟同构。

证明。星上的态射 P 产生映射 $\pi_p : \mathcal{C}^{p,\bullet} \to \mathcal{D}^{p,\bullet}$, 对每个$p \geq 0$均成立。我们有如下非负复形的交换图。

$$\begin{array}{ccccccccc} 0 & \longrightarrow & \Omega^\bullet(X) & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{C}^{0,\bullet} & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{C}^{1,\bullet} & \xrightarrow{\delta} & \dots \\ & & \downarrow P & & \downarrow \pi_0 & & \downarrow \pi_1 & & \\ 0 & \longrightarrow & A^\bullet(X) & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{D}^{0,\bullet} & \xrightarrow{\delta} & \mathcal{D}^{1,\bullet} & \xrightarrow{\delta} & \dots . \end{array}$$

竖直箭头 π_p, $p \geq 0$ 根据命题 5.1 是拟同构。第一行由命题 4.6 可知是正合的。第二行由命题 3.3 可知是正合的。

因此, 映射 P 也是一个拟同构。 □

注记 5.3. 正如引言中所说, 论文 [7] 指出定理 5.2 是错误的。也就是说, 在 [7, 例子 3.8]中, 考虑与顶点 1、2、3 上的三角形的边界相对应的单纯复形 X。微分分次代数 $\Omega^\bullet(X)$ 由元素 t_1、 t_2、 t_3 生成, 并对由$t_1 + t_2 + t_3 - 1$ 和 $t_1t_2t_3$生成的微分分次理想取商。接下来, 作者考虑形式 $t_1^2t_2^2dt_3$, 并声称该形式不为零。然而, 该形式为零, 证明如下: 将微分 d 作用于等式 $t_1t_2t_3 = 0$, 得到

$$t_2t_3dt_1 + t_1t_3dt_2 + t_1t_2dt_3 = 0.$$

接下来, 我们将这个等式乘以 t_1t_2, 得到

$$0 = t_1t_2^2t_3dt_1 + t_1^2t_2t_3dt_2 + t_1^2t_2^2dt_3 = t_1^2t_2^2dt_3.$$

References

[1] D. Arapura and S.-J. Kang, *Kähler–de Rham cohomology and Chern classes*,《代数通讯》,39(2011),第1153–1167页。[2] I. Baskov, *The de Rham cohomology of soft function algebras*。https://arxiv.org/abs/2208.11431, 2022年。[3] L. J. Billera, *The algebra of continuous piecewise polynomials*, 《数学进展》, 76(1989),第170–183页。

[4] R. Bott and L. W. Tu, *Differential forms in algebraic topology*, 施普林格, 1982年。[5] Y. Félix, S. Halperin, and J.-C. Thomas, *Rational homotopy theory*, 施普林格, 2012年。[6] Y. Félix, B. Jessup, and P.-E. Parent, *The combinatorial model for the Sullivan functor on simplicial sets* 213 2009 231 240 ,

《纯粹与应用代数杂志》, (), 第–页。

[7] F. Gómez, *Simplicial types and polynomial algebras*, Archivum Mathematicum, 38 (2002), 第27–36页。[8] P. Griffiths and J. Morgan, *Rational homotopy theory and differential forms*, Birkh¨auser, 1981年。[9] A. Grothendieck, *On the de Rham cohomology of algebraic varieties*, Publications Math´ematiques de l'IH´ES, 29 (1966), 第95–103页。[10] D. M. Kan and E. Y. Miller, *Sullivan's de Rham complex is definable in terms of its 0-forms* 57 1976 337 339 , 美国数学会会刊, ( ), 第–页。[11] E. Kunz, *Kähler differentials*, Friedr. Vieweg & Sohn, 1986年。[12] D. Sullivan, *Differential forms and the topology of manifolds*, Manifolds Tokyo, (1973), 第37–49页。[13] , *Infinitesimal computations in topology*, Publications Math´ematiques de l'IH´ES, 47 (1977), 第269–331页。

St. Petersburg Department of Steklov Mathematical Institute of Russian Academy of Sciences*E-mail address*: baskovigor@pdmi.ras.ru