

高速度星의 力學的解釋에 對한 研究

李 榮 範

서울대학교 教育大學院

俞 景 老

서울대학교 師範大學

(1971年 7月 25日 接受)

A Study on the Interpretation of the Dynamical Properties of the High Velocity Stars

Young Bom Lee

Graduate School of Education, Seoul National University.

Kyung Loh Yu

College of Education, Seoul National University.

(Received July 25, 1971)

Abstract

The average velocity, 330km/sec, of the high velocity stars with respect to the galactic center is obtained from the data used by Fricke on the assumption that the rotational velocity of the Local Standard of Rest is 250km/sec.

Comparing this value with the escape velocity, 380km/sec, at the solar neighborhood which is calculated from Mestel's model of the Galaxy, it is shown that most of the high velocity stars are bound to the Galaxy and that their average apogalacticon is about 40 kpc from the galactic center.

And the fact that stars with radial velocities larger than 63km/sec are missing in the direction of galactic rotation of L.S.R. is interpreted as the result partly of the random distribution of the directions of motion of the high velocity stars and partly of the observational errors.

I 序論

銀經에 따르는 高速度星의 分布가 그림 1 과 같이 非對稱이어서 銀河系回轉方向($l^{\text{II}}=90^\circ$)에 는 63km/sec 以上の 速度를 가진 별이 觀測되지 않는다.

이러한 事實에 對한 解釋으로서는 現在 2個의 意見이 提出되고 있다. Oort 나 W. Fricke 등은 Local Standard of Rest (L.S.R.)의 銀河系回轉 速度를 θ_0 km/sec라 하면 (θ_0+63) km/sec가 바로

L.S.R. 의 位置에 있어서의 銀河系로부터의 脫出 速度가 된다고 생각했다. 이에 反하여 Schmidt 나 Roman 등은 이를 銀河系의 有限한 크기에서 오는 現象이라고 생각한다. 即 (θ_0+63) km/sec 는 銀河系의 限界까지 갈수 있는 별들의 近銀河系 中心點에서의 速度에 該當하는 것이라고 解釋하는 것이다.

本研究에서는 W. Fricke가 上述한 바의 假定에서 θ_0 를 求하는데 利用했던 高速度星의 觀測資料를 그대로 쓰되 現今 天文學界가 가장 妥當한

값이라고 받아드리고 있는 太陽의 銀河系 中心으로부터의 距離 $R_0=10\text{kpc}$ 와 L.S.R.의 銀河系 回轉速度 $\theta_0=250\text{km/sec}$ 와의 關係에서 거꾸로 高速度星 各個의 銀河系中心에 對한 速度를 求했다. 그리고 銀河系의 質量分布模型으로서 L. Mestel의 것에 準한 것을 써서 高速度星의 運動에 對한 力學的 解釋을 試圖한 것이다.

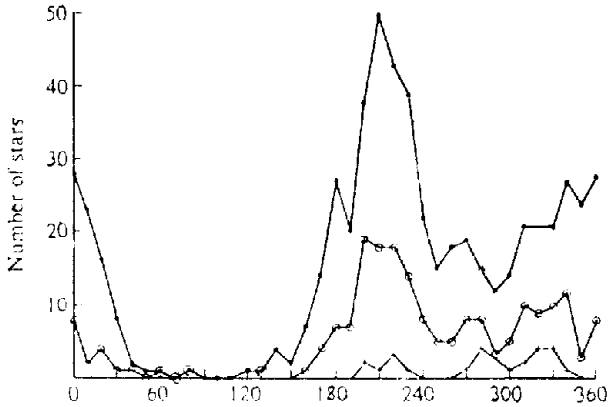


그림 1. 高速度星의 銀河經度 分布

•, $V>63\text{km/sec}$, ⊙, $V>100\text{km/sec}$, +, $V>250\text{km/sec}$ (G. Miczaika Astron. Nachr. 207, 249, 1940에서)

II 資料와 分析

A. 高速度星의 觀測資料와 空間速度

高速度星의 空間運動을 求하기 爲한 觀測資料

는 Fricke의 것을 썼다. 그는 가장 큰 空間速度를 갖는 60個의 高速度星이 銀河系로 부터의 脫出速度를 가지고 있다고 假定했다. 그러면 各별의 速度成分 사이에는

$$\pi^2 + (\theta_0 + \theta_*)^2 + Z^2 = (\theta_0 + 63)^2$$

의 關係가 成立한다. π, θ, Z 는 Local Standard of Rest (L.S.R.)에서의 直角座標 速度成分이다.

Fricke는 이 關係에서 L.S.R.의 銀河系回轉速度로 $\theta_0=276\pm 21\text{km/sec}$ 를 얻었다.

本論文에서는 이와는 달리 高速度星의 空間速度 V 를

$$V^2 = \pi^2 + (\theta_0 + \theta_*)^2 + Z^2 \tag{1}$$

로 하고 이속에서 $\theta_0=250\text{km/sec}$ 를 넣어서 計算하였다. 即

$$\begin{aligned} V^2 &= 250^2 + 500\theta_* + \pi^2 + \theta_*^2 + Z^2 \\ &= 250^2 + 500\theta_* + P^2 \end{aligned} \tag{2}$$

이 된다.

Fricke의 資料에 60個의 별의 π, θ_*, Z 와 各各의 값에 대한 무게 (weight) p 가 주어져 있다.

60個의 高速度星 中 10個가 矮星(dwarfs), 23個가 準矮星(subdwarfs), 13個가 R.R. L'yaere星, 그리고 나머지 14個가 長週期變光星(long period variables)이다. 다음의 표 I, II, III, IV는 위의 各各의 별에 대한 Fricke의 θ_*, π, Z, P 와 p , 그리고 그를 基礎로 하여 (2)式에 依하여 V 를 計算하고 다시 pV 를 求한 것이다.

表 I. 矮星(dwarfs)

번호	별	km/sec				무게 p	$V\text{km/sec}$	pV
		θ_*	π	Z	P			
1	+2° 348	+6	-150	-99	180	1	313	313
2	+21 607	-305	+370	-9	480	1	374	374
3	+38 2285	-130	-295	-9	323	1	316	316
4	+4 2568	-317	-302	-168	469	1	352	352
5	-17 3723	-209	-369	-200	469	1	422	422
6	+32 2547	-483	-348	+51	597	1	420	420
7	+37 2926	-180	-369	+133	432	1	398	398
8	+18 3911	-191	-260	-16	323	1	263	263
9	-20 5385	-333	-194	-53	389	1	217	217
10	-17 6856	-211	+325	-27	388	1	327	327

表 II. 準矮星(subdwarfs)

번호	별	km/sec				무게 p	Vkm/sec	pV
		θ_*	π	Z	P			
11	PGC 175	+68	+63	-226	239	$\frac{1}{2}$ *	394	99
12	-29° 2277	-570	+93	-110	588	1	350	350
13	20C 347	-391	-188	-183	471	$\frac{1}{2}$	299	150
14	+19° 1185	-73	-226	+51	243	1	292	292
15	+31° 1684	-171	-285	-89	345	1	310	310
16	-12° 2669	-73	+79	-256	278	$\frac{1}{2}$	324	162
17	-30° 2525	-153	-229	+37	278	$\frac{1}{2}$	251	125
18	20C 590	-312	-263	+122	426	$\frac{1}{2}$	297	149
19	+34° 2476	-189	-308	-152	392	$\frac{1}{2}$	350	175
20	20C 828	-174	-313	-133	382	$\frac{1}{2}$	348	174
21	ROSS 841	-373	-483	-338	698	$\frac{1}{2}$	605	151
22	-15° 4042	-394	-374	-25	504	1	348	348
23	20C 982	-25	-252	+86	267	$\frac{1}{2}$	350	175
24	20 993	-385	-249	-99	469	$\frac{1}{2}$	300	150
25	+17° 3154	-215	+40	+227	315	$\frac{1}{2}$	232	116
26	-8° 4501	-17	-146	-171	225	$\frac{1}{2}$	324	162
27	-13° 4807AB	-35	-231	+26	235	1	320	320
28	+13° 3683	+181	+10	+90	202	—	—	—
29	Ross 711	-234	-408	-216	518	$\frac{1}{2}$	464	232
30	20C 1263	-174	-322	-116	384	1	350	350
31	Her 39	-178	+238	-42	300	$\frac{1}{2}$	252	126
32	+38° 4955	-153	+118	-249	315	$\frac{1}{2}$	292	146
33	+59° 2723	-208	+232	-59	317	$\frac{1}{2}$	242	121

表 III. RR Lyrae 星

번호	별	km/sec				무게 p	Vkm/sec	pV
		θ_*	π	Z	P			
34	RW Chc	-345	-225	-32	413	1	246	246
35	X LMi	-78	-310	+262	413	$\frac{1}{2}$	440	110
36	RX Leo	+88	-324	-17	336	$\frac{1}{2}$ *	468	117
37	S Com	+235	+334	-31	410	—	—	—
38	u Com	-410	+294	-1	504	1	336	336
39	Sw Boo	-295	+391	+217	536	$\frac{1}{2}$	450	225
40	Vx Her	-183	+155	-306	389	1	350	350
41	RZ Lyr	-114	+313	+15	334	1	342	342
42	RR Lyr	-130	-337	+17	362	$\frac{1}{2}$	372	186
43	XZ Cyg	-60	+29	-299	306	$\frac{1}{2}$	395	197
44	RV Cap	-396	-16	-172	432	1	225	225
45	SW Adr	-195	-424	+126	483	$\frac{1}{2}$	447	224
46	RZ Cep	-195	+422	+381	601	—	—	—

表 IV. 長週期 變光星(long-period-variables)

번호	별	km/sec				무게 p	Vkm/sec	pV	
		θ_*	π	Z	P				
47	R	Ari	-346	+298	-76	463	$\frac{1}{2}$	324	162
48	R	Cet	+5	+186	+99	211	$\frac{1}{2}$	330	165
49	L ₂	Pup	-38	+213	+182	283	$\frac{1}{2}$	351	176
50	X	Hya	-118	+219	-287	380	$\frac{1}{2}$	381	190
51	S	Leo	-360	+556	-177	686	$\frac{1}{4}$	594	149
52	S	Lib	-128	-191	+230	325	1	324	324
53	R	Lib	-71	+106	+256	286	$\frac{1}{2}$	330	165
54	S	Cyg	+34	-40	-125	136	$\frac{1}{2}$	313	157
55	W	Cap	-316	-49	+88	371	$\frac{1}{2}$	218	109
56	Z	Aql	-9	+105	-217	241	$\frac{1}{2}$	340	170
57	T	Aqr	-54	-152	+171	235	1	301	301
58	Z	Cap	-159	-238	+204	351	$\frac{1}{2}$	326	163
59	RR	Aqr	-45	+225	+60	237	1	310	310
60	RT	Aqr	+149	+318	-63	357	—	—	—

表 I의 資料는 三角視差와 分光視差로부터 얻은 空間速度로서 $p=1$ 을 주었다. 表 II의 大部分은 假想的 分光視差(Hypothetische Spektrale parallaxen)에 의한 것으로 $p=\frac{1}{2}$, 대단히 큰 空間速度로 나타난 11번과 21번의 별의 것은 觀測誤差가 크다고 判斷되어 $p=\frac{1}{4}$ 로 놓았다.

表 III의 R.R. Lyrae星의 距離測定에 대해 遠距離의 것은 그만큼 誤差가 더 클것이므로 $p=\frac{1}{2}$, 36번 별은 $\theta_* > +63$ 으로서 Fricke는 統計에서 除外했던 것인데 여기서는 $p=\frac{1}{4}$, 35번별은 表 IV의 51번별과 더불어 L.S.R.에 대한 速度가 각각 592, 551km/sec로 나오기 때문에 $p=\frac{1}{4}$ 를 주었다. 그리고 表 VI의 變光星은 銀河緯도가 작은 것일수록 空間吸收가 클 것이므로 $p=\frac{1}{2}$ 을 준 것이다.

B. 銀河系の 質量分布 模型

高速度星의 力學的인 解釋을 위한 銀河系の 模型으로는 L. Mestel의 圓板形模型을 利用하였다. 그러나 그가 $\theta_* = 63$ km/sec를 銀河系로부터의 脫出速度로 생각해서 誘導한데 反하여 이 論文에서는 그 式은 그대로 쓰되 銀河系の 크기는 다른 觀測에서 一般的으로 받아들여지고 있는 $R=15$ kpc를 假定하였다.

III 高速度星의 平均速度와 速度分布

A. 平均速度

우선 表 I-IV의 資料를 써서 高速度星을 矮星과 準矮星, RR Lyrae星과 長週期變光星의 2群으로 나누어서 各各의 重價平均에 의한 平均速度 \bar{V} 와 平均誤差 ϵ 를 求하여 아래와 같은 값을 얻었다.

a) 矮星과 準矮星

$$\bar{V}_I = \frac{\sum pV}{\sum p} = \frac{7785}{23.5} = 331.3 \text{ km/sec}$$

$$\epsilon_I = \sqrt{\frac{[p\nu\nu]}{[p](n-1)}} = \sqrt{\frac{88574}{23.5 \times 31}} = 11.4 \text{ km/sec}$$

(여기 ν 는 殘差)

따라서 矮星, 準矮星은

$$\bar{V}_I = 331.3 \pm 11.4 \text{ km/sec}$$

b) RR Lyrae星과 長週期變光星

$$\bar{V}_{II} = \frac{5099}{15.25} = 334.3 \text{ km/sec}$$

$$\epsilon_{II} = \sqrt{\frac{136206}{15.25 \times 23}} = 19.7 \text{ km/sec}$$

따라서

$$\bar{V}_{II} = 334.3 \pm 19.7 \text{ km/sec}$$

c) 全體의 高速度星의 平均速度

矮星, 準矮星의 群(I)과 R.R. Lyrae 및 長週期變光星의 群(II)의 觀測資料의 무게를 考慮하여 前者에는 後者의 2倍의 무게를 주어서 같은 方法으로 平均速度를 求하면

$$\bar{V} = 330 \pm 14 \text{ km/sec}$$

를 얻는다.

B. 速度的 分布

表 I-IV 의 資料로 高速度星의 速度頻度 分布를 그래프로 그리면 다음의 그림 2 와 같다. 여기서 최빈속도가 대체로 앞에서의 重價平均値와 一致함을 본다. 따라서 高速度星의 一般的인 力學的 性格을 따질때 一次的으로 이 $\bar{V}=330\text{km/sec}$ 를 使用하기로 한다.

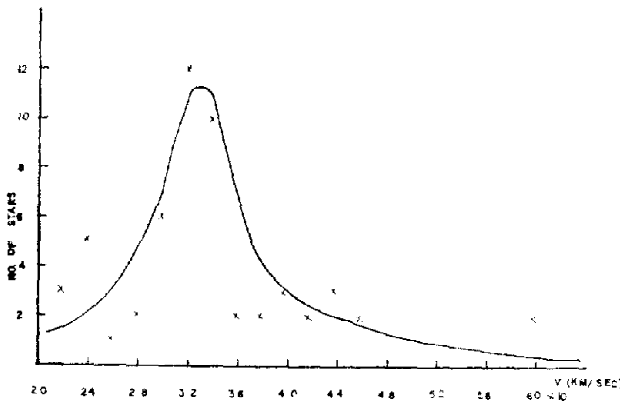


그림 2. 高速度星의 速度分布

VI 銀河系模型과 太陽부근에서의 脫出速度

L. Mestel 은 거의 일정한 密度分布를 가지고 일정한 회전운동을 하는 球가 각 部分의 角運動量을 그대로 保存하면서 수축하는 경우를 計算하였다. 이때 그는 이러한 球體內에서의 力學的 平衡은 각부분에 作用하는 中心方向으로의 重力이 바로 회전에 필요한 求心力이 된다는 條件만 에 依한다고 가정하고 각자의 운동에 따르는 氣體壓力이나 또는 그 속에 存在할 수 있는 磁氣力은 無視했다. 그리하여 그는 i) 萬一 密度分布가 完全히 일정하다면 마지막에는 角速度 Ω 가 一定한 회전원반으로서의 평형상태에 도달하고, ii) 만일 밀도분포가 中心으로 부터 球의 表面으로 갈에 따라 약간씩 減少한다면 마지막에는 中心部에 많은 質量集中을 이루는 회전속도 V 가 一定한 회전원반이 된다는 것을 밝혔다.

이 後者의 경우는 우리의 銀河系와 매우 흡사하다. 그러므로 본논문에서는 이러한 Mestel 의 模型을 써서 太陽부근에서의 탈출속도를 計算하였다.

이 計算에서 密度가 變하는 同心 橢圓體殼의

층적을 생각한다. 이 때는 타원체의 적도거리 w 以內的 질량을 w 以內에 完全히 들어가는 타원체각들의 질량 $m_1(w)$ 와 w 內에 있되 그 밖에 까지 뻗어있는 각들의 w 以內的 部分의 질량 $m_2(w)$ 로 나누어서 생각할 수 있다. 그러면 w 에서의 重力場은 오로지 $m_1(w)$ 에만 依하여 決定되는 계산상의 利點이 있다.

이제 Mestel에 따라 長半徑 a , 이심률 e 밀도 $\rho(a)$ 인 廻轉橢圓體를 생각한다. 그 적도면상의 點 $w > a$ 에서의 重力 potential 은

$$\varphi = \pi G \rho(a) a (1-e^2)^{1/2} \left[\frac{2a}{e} \left(1 - \frac{w^2}{2a^2 e^2} \right) \sin^{-1} \frac{ae}{w} + \frac{(w^2 - a^2 e^2)^2}{e^2} \right] \quad (1)$$

이다. 따라서 同心廻轉橢圓體 $a, a+da$ 사이에 轉 밀도 $\rho(a)$ 인 橢圓體殼에 依한 potential 은

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a} da = 4\pi G \rho(a) (1-e^2)^{1/2} \frac{a}{e} \sin^{-1} \frac{ae}{w} da \quad (2)$$

이며 이 타원체각에 의한 w 에서의 中心方向으로의 重力場은

$$-\frac{\partial}{\partial w} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial a} da \right) = \frac{4\pi G \rho(a) (1-e^2)^{1/2} a^2 da}{w(w^2 - a^2 e^2)} \quad (3)$$

이다.

이제 적도면내 單位面積當의 타원체의 질량이

$$M(w') = M_0 \left[1 - \left(\frac{w'}{R_0} \right)^2 \right]^{1/2} \quad w' < R_0 \quad (4)$$

에 의해서 분포되었다고 하자. 그러면 M_0 는 中心部에서의 단위면적當의 질량이다. 이것을 무한소 두께의 타원체로 한다면

$$M_0(a) = \lim_{\rho \rightarrow \infty} [2\rho(a) a (1-e^2)^{1/2}] \quad (5)$$

로 表示된다. 그리고 w 點에서의 重力場은

$$\frac{2\pi G}{w} \int_0^\infty \frac{M_0(a) a da}{(w^2 - a^2)^{1/2}} \quad (6)$$

이다.

그리고 $w < a$ 內의 타원체의 全質量은

$$m_1 = 4\pi \rho(a) (1-e^2)^{1/2} \frac{a^3}{3} \quad (7)$$

이 된다. 따라서 $a \rightarrow a+da$ 에 따르는 質量의 증가는

$$dm_1 = 4\pi \rho(a) (1-e^2)^{1/2} a^2 da = 2\pi M_1(a) da \quad (8)$$

따라서 원운동의 求心力은

$$\Omega^2(w)w = \frac{V^2}{w} = \frac{G}{w} \int_0^w \left(\frac{dm_1}{da} \right) da \quad (9)$$

이다.

한편 (8)에서

$$m_1(w) = \frac{2}{\pi G} \int_0^{w'} \frac{V^2(a)ada}{(w^2 - a^2)^{1/2}} \quad (10)$$

이 誘導된다.

이제 은하계의 半徑을 R' , 회전속도를 $V = \text{const}$ 라고 하면

$$m_1(w) = \frac{2V^2}{\pi G} w' \quad (11)$$

한편 평형회전의 방정식

$$\Omega^2(w') = -\frac{1}{w'} \frac{\partial \varphi}{\partial w'} \quad (12)$$

에서 $w' < R'$ 點에서의 重力 potential은

$$\varphi = -V^2 \log \left(\frac{w'}{R'} \right) + \text{const} \quad (13)$$

를 얻는다. 그리고 이 은하계원판의 가장자리 R' 에서의 potential은 (1), (5), (8), (11)에 의하여

$$\begin{aligned} \varphi &= G \int_0^{R'} \frac{dm_1}{da} \left[\frac{\sin^{-1} \left(\frac{a}{R'} \right)}{a} \right] da \\ &= \frac{2V^2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sin^{-1} u}{u} du \approx 0.69 V^2 \end{aligned} \quad (14)$$

따라서 (13)은

$$\varphi = V^2 \left[0.69 - \log \frac{w'}{R'} \right] \quad (15)$$

가 된다.

이제 태양의 은하계중심으로 부터의 거리를 w_0' 여기서의 탈출 속도를 αV_0 라고 하면 탈출 속도는 $(2\varphi)^{1/2}$ 이므로

$$\log \left(\frac{w_0'}{R'} \right) = 0.69 - \frac{\alpha^2}{2} \quad (16)$$

의 관계를 얻는다.

Mestel의 以上の 관계에 현재 천문학계에서 표준치로 채택되고 있는 Local Standard of Rest 에 관한 값으로

$$\begin{aligned} \text{銀河系廻轉速度} & V_0 = 250 \text{ km/sec} \\ \text{銀河系中心부터의 거리} & w_0' = 10 \text{ kpc} \\ \text{銀河系の 半徑} & R' = 15 \text{ kpc} \end{aligned}$$

를 적용하면

$$\alpha = 1.5 \quad (17)$$

를 얻는다.

따라서 태양부근에서의 은하계로부터의 脫出速度

$$V_0 \text{ escape} = \alpha V_0 = 380 \text{ km/sec} \quad (18)$$

를 얻는다. 이 값은 Schmidt의 模型으로부터의 계산치와 같다.

V. 高速度星의 軌道運動

III에서 본 바와 같이 60個의 고속도성의 속도의 重價平均과 그 分布에서의 최빈속도가 다 330 km/sec이다. 60個 中에는 脫出速度 380 km/sec보다 큰 속도를 가진 별이 13個가 있다.

이 13개의 별의 속도측정에 誤差가 없다 해도 그 나머지는 脫出速度 以下の 速度를 가졌으므로 銀河系에서 一定한 거리까지 가면 되돌아오는 그런 軌道運動을 하게 된다. 이제 이들의 별의 代表的인 軌道를 求하기 위하여 최빈속도인 330 km/sec의 속도를 가진 별을 택하여 본다.

이 高速度星은 태양부근에서 近銀河系中心點에 오는 것으로 가장 빠른 속도가 330 km/sec라고 해석함이 당연할 것이다. 그러면 $w_0' = 10 \text{ kpc}$ 에서 $V = 330 \text{ km/sec}$ 인 이 별이 얼마나 멀리 銀河系中心으로부터 떨어져 갈 수 있나를 계산하자.

計算에서는 各量의 單位로서 아래와 같은 것을 使用한다.

길이	1 kpc
속도	1 km/sec
시간	1 kpc / (km/sec) = 0.97×10^9 年
가속도	1 (km/sec) ² / kpc = 3.24×10^{-12} cm/sec ²
질량	$\frac{1}{G}$ kpc \times 1 (km/sec) ² = $2.32 \times 10^5 m_{\odot}$
밀도	$\frac{1}{G}$ kpc \times 1 (km/sec) ² / 1 kpc ³ = $2.32 \times 10^{-4} m_{\odot} / \text{pc}^3$ = 1.58×10^{-26} g/cm ³

우선 (11)을 적용하여 은하계의 총질량 m_g 를 計算하면

$$m_g = \frac{2V^2}{G\pi} R' = 1.4 \times 10^{11} m_{\odot} \quad (19)$$

한편 R' 밖에서는 $m_1 = m(R') = \text{const.}$ 가 되므로 (9)에서

$$\begin{aligned} & \frac{2}{\pi} V^2 R' \left[\frac{\sin^{-1} \left(\frac{R'}{w'} \right)}{R' w'} \right] \\ & = \frac{Gm(R')}{w'} \left[\left(\frac{w'}{R'} \right) \sin^{-1} \frac{R'}{w'} \right] \quad (20) \end{aligned}$$

을 얻는다. 이것은 $w'/R' \rightarrow \infty$ 에서는 重力場이 $m(R')$ 이 原點에 存在할 경우와 같게 됨을 보여 준다. 그러므로 여기서는 銀河系 밖의 重力場이 실제로는

$$\begin{aligned} \varphi = \frac{Gm_g}{w'} & \left[1 + \frac{1}{2 \cdot 3^2} \left(\frac{R'}{w'} \right)^2 \right. \\ & \left. + \frac{1.3}{2 \cdot 4 \cdot 5^2} \left(\frac{R'}{w'} \right)^4 + \dots \right] \end{aligned}$$

이나 대담하게 Kepler型으로 近似하여

$$\varphi = \frac{Gm_g}{w'} = \frac{6.0 \times 10^5}{w'} \quad (21)$$

로 놓고 計算한다.

이제 L.S.R.에서 V 의 속도로 출발한 별이 $V=0$ 가 되는 거리를 energy 保存法則에 따라 計算한다.

L.S.R.에서의 potential은 上記의 단위로

$$\varphi_L = V^2 \left(0.69 - \log \frac{R_0}{R'} \right) = 6.9 \times 10^4 \quad (22)$$

$V=330\text{km/sec}$ 의 高速度星의 運動 energy는

$$K.E. = \frac{1}{2} V^2 = 5.4 \times 10^4 \quad (23)$$

이며 R' 에서의 potential은

$$\varphi_p = 0.69 V^2 = 4.3 \times 10^4 \quad (24)$$

따라서 L.S.R.에서와 은하계 周緣에서의 potential의 差異와, L.S.R.에서의 運動 energy로부터 周緣에서의 運動에너지 $\frac{1}{2} V_p^2$ 가 求해진다.

$$\frac{1}{2} V_p^2 = \frac{1}{2} V^2 - (\varphi_L - \varphi_p) = 2.8 \times 10^4 \quad (25)$$

이다. 이 周緣에서의 運動 energy는 遠銀河系中心點 R_A 에서 0이 되며 R_A 에서의 potential을 φ_A 라 하면

$$\frac{1}{2} V_p^2 + \varphi_p = 0 + \varphi_A \quad (26)$$

이 成立한다. (21)에서

$$\varphi_A = \frac{6.0 \times 10^5}{R_A} \quad (27)$$

이므로 위의 값을 代入하여

$$R_A = 40(\text{kpc}) \quad (28)$$

를 얻는다. 즉 은하계 중심으로부터의 거리 40kpc가 速度 $V_0=330\text{km/sec}$ 의 고속도성의 도달할 수 있는 最遠距離가 된다.

VII 結論과 問題點

以上の 가정과 計算에서 우리는 $R_0=10\text{kpc}$ $V_0=250\text{km/sec}$ $R'=15\text{kpc}$ 를 가정하면 高速度星의 重價平均速度가 $V=330\text{km/sec}$ 가 되며 이는 L.S.R.에서의 脫出速度 380km/sec 보다 작다. 그러므로 이들의 高速度星은 몇개를 제외하고는 그 은하계에 속박된 狀態에 있고 은하계중심에서 약 40kpc의 點을 遠銀河系中心點으로 하는 軌道 運動을 한다고 判斷된다.

그러나 高速度星의 運動을 해석할 때 몇개의 問題點이 생긴다. 그 중에 하나가 高速度星의 方向分布에 나타나는 비대칭성으로 L.S.R.에 대한 速度가 63km/sec 以上인 별이 L.S.R.의 은하계 회전 방향에 관측되지 않는 事實을 어떻게 해석할 것이냐 하는 것이다.

그 해석의 하나로는 이들 高速度星의 運動方向이 반드시 은하면에 있지도 않고 또 은하회전의 방향에 있지 않기 때문이라고 할 수도 있겠다. 즉 이들의 速度의 $l''=90^\circ$, $b''=0$ 방향의 成分이 63km/sec 以上이며 速度의 크기는 63km/sec 以上이 된다는 해석이다. 그러나 이것은 一般的인 해석은 되어도 $80\text{km/sec} - 65\text{km/sec} = 15\text{km/sec}$ 의 差異를 全部 解決해 줄 것 같지는 않다.

둘째는 觀測의 誤差의 問題이다. 별의 距離測定에는 아직도 큰 誤差가 따르고 있고, 固有運動에도 역시 그렇다. 그러므로 高速度星의 速度에도 不正確性이 있고 우리가 假定했던 R_0 , V_0 , R' 의 값도 完全한 것이라고는 할 수 없겠다.

특히 $V_0=250\text{km/sec}$ 의 추정에는 高速度星의 分布의 비대칭성을 탈출속도에서 오는 것으로 假定한 Fricke의 위의 資料가 얼마간의 무게를 가지고 기여하고 있다는 點이다.

그러므로 高速度星의 力學的인 解釋을 大體로 위와 같이 結論지었으되 보다 正確한 回答은 앞으로의 보다 더 正確한 觀측치를 기다려야 얻을 것으로 믿어진다.

參 考 文 獻

1. Abramowitz, M & Stegun, I.A. 1965, "Handbook of Mathematical Functions," Dover Publ. Inc. New York
2. Blaauw, A. & Schmidt, M. 1965 "Galactic Structure"

- Univ. of Chicago Press. Chicago & London
3. Chandrasekhar, S. 1942, "Principles of Stellar Dynamics" Dover Publ. Inc. New York.
 4. Chauvenet, W. 1960, "A Manual of Spherical & Practical Astronomy Vol II (Method of Least Squares) Dover Publ. Inc. New York
 5. Feast, M.W. 1967, "The radial velocities of distant cepheids and galactic models", Mon. Not. R. Astr. Soc. Vol. 136, No. 2, 141p
 6. Fricke, W. 1949, "Die Rotationsgeschwindigkeit der Milchstraße in Sonnennähe" Astron. Nachr. vol, 278 49p
 7. Harrison, E.R., 1970, "Galaxy formation in the early universe" Mon. Not. R. Astr. Soc. Vol. 148. 119p
 8. Mestel, L. 1963, "On the galactic law of rotation" Mon. Not. R. Astr. Soc. Vol. 126, No. 6, 5539
 9. Mihalas, D. & Roulty, P.R. 1968, "Galactic Astronomy" W.H. Freeman and Comp. San Francisco.
 10. Shane, W.W. & Bieger-Smith, G.P. 1966, "The galactic rotations curve derived from observations of neutral hydrogen" Bull. Astr. Inst. Netherlands Vol. 18, No. 4, 263p
 11. 小平吉男, 1937, "物理數學" 岩波書店, 東京
 12. 宮本正太郁, 1957, "誤差論 及 計算法", 恒星社, 東京