クロムの ^3He 照射によるキャリアフリーの ^{52}Mn の生成について

秋 葉 文 正

弘前大学教育学部・弘前市文京町

1972年 9月1日 受理

^{52}Mn をつくるため理研サイクロトロンでクロムを ^3He , α 粒子で照射し, $^{52,54,56}\text{Mn}$ などの励起曲線と収率を求め, 化学分離法も検討した。照射済みターゲットの塩酸分解溶液より, 陰イオン交換分離し, ついで蒸留により, キャリアフリーに ^{52}Mn をえたが ^{54}Mn を0.7%くらい含む。これをさけるにはいったん分離した ^{52}Fe を35時間放置後, 陰イオン交換分離するとよい。1 mCi ^{52}Fe より1 μCi ^{52}Mn をえた。 ^3He 照射では ^{52}Mn は主として $^{52}\text{Cr}(^3\text{He}, p2n)$ 反応で核反応断面積の極大は33 MeV で220 mb に達し, 40 MeV で156 $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ になり実用量が得られた。

クロムの ^3He 粒子照射は α , p , d 粒子照射のいずれに比べても ^{52}Mn の収率が高く, ^{54}Mn の生成量が少ない点ですぐれており, またキャリアフリー分離ができた。

1. 緒 言

マンガンの放射性同位体は9種¹⁾知られているが, よく用いられるのは ^{56}Mn (2.58時間)と ^{54}Mn (303日)である。前者は原子炉で (n, γ) 反応で容易につくられるがキャリアフリーでは得られない。また短寿命すぎる欠点もある。後者は主として速中性子または加速器で (n, p) 反応でつくられキャリアフリーで得られるが長寿命すぎるきらいがある。したがって, 医生物学方面ではこの中間のものとして ^{52}Mn が注目されており²⁾, 半減期5.7日(EC 66%, β^+ 34%), (γ 0.744, 0.935, 1.434 MeV) で実用上つごうがよい。しかし, ^{52}Mn は荷電粒子反応によるほかに, 主として ^{52}Cr の (p, n) 反応^{3), 4)}, $(d, 2n)$ 反応^{5), 6)} などで行われている。

著者らはクロムの ^3He , α 照射について励起曲線の測定を行ない^{7)~9)}, ^{52}Mn 以外について報告した。Crの $(^3\text{He}, pxn)$ 反応 (x : 1~3)によると, ^{52}Mn の核反応断面積の極大値は220 mb と上述の核反応のいずれと比べても1桁以上大きく, また, 厚いターゲット収率も40 MeV で156 $\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ に達し, きわめて有望であることを認めた。照射後, クロム・ターゲットから化学分離して ^{52}Mn がキャリアフリーで得られた。しかも ^{52}Mn とは化学分離が不可能なため生成の望ましくない ^{54}Mn は0.7%以下と少ない点で ^3He 照射による ^{52}Mn の製法は他の核反応よりもすぐれているものと考えられる。

本実験においては ^{52}Mn の実用量をつくる目的で,

^3He , α 照射について詳しく調べ, α 反応およびその他の核反応による場合との比較検討を行なうとともに, クロム・ターゲットから ^{52}Mn をキャリアフリーで分離調製する方法を検討した。

2. 実 験

2.1 ターゲット作製と照射

理研サイクロトロンにより ^3He , α 照射を最高44 MeV まで試みたが, 励起曲線の測定 (stacked-foil¹⁾ 法) に用いたターゲットの電着法による作製¹⁰⁾ や生産を目的とした厚いターゲット¹¹⁾ についてはすでに報告した。照射条件もまた同じである⁹⁾。

2.2 放射能測定

測定器, 測定条件については省略するが, 照射後, 短寿命の放射能を減衰させたのち, 非破壊でまたは化学分離をして測定を行なった。放射能測定にはそれぞれ ^{52}Mn : 0.744, 0.935 MeV, ^{54}Mn : 0.835 MeV, ^{56}Mn : 0.847, 1.811 MeV の γ 線を用い, 放射能の絶対値は γ 線の光電ピークの計算値に, γ 線に対してのそれぞれの効率を用いて求めた⁹⁾。

2.3 ^{52}Mn のキャリアフリー分離法

クロムの α 照射により生成した ^{52}Fe を化学分離したのち, クロム・ターゲットの溶液中にはきわめて多量に ^{54}Mn があり, 実用量が得られることを認めた⁷⁾。すなわち, マンガンをイオン交換分離したのち蒸留法で精製し, キャリアフリーで収率90%以上で得るこ

とができた。この分離法はそのまま ^{52}Mn にも適用できる。実際には、 ^3He 照射後クロム・ターゲットの塩酸溶液 (8N) または ^{52}Fe を分離した残りの溶液に HCl ガスを吹き込んで飽和させ、これを陰イオン交換樹脂 Amberlite CG-400 (100 メッシュ) のカラムにチャージする。12N 塩酸で Cr^{3+} , V^{4+} を分離し、ついで 6N 塩酸で Mn^{2+} を分離する。このマンガロン区分には少量のクロム、バナジウムの放射性不純物を含むのでこれに濃硫酸 20 ml を加えて蒸発乾固し、残留物はヨウ素酸カリウム 2 g とともに 10N 硫酸 50 ml に溶かして蒸留し 166°C の留分をとる。蒸留中、共沸点 (120.5°C) の硝酸蒸気を絶えず徐々に吹き込み、100 ml の留出液をとる。そのさい留出液は過酸化水素を含む塩酸溶液中で捕集して Mn_2O_7 をふたたび Mn^{2+} に還元する。収率は 90% 以上であり、この ^{52}Mn 中に ^{54}Mn は約 0.7% はいついた。

もし、まったく ^{54}Mn の混入をさけるためには、収率は落ちるが ^{52}Fe の壊変によってつくる。すなわち

の壊変があり、 ^{52}Fe の化学分離後¹¹⁾ 35.3 時間放置すると ^{52}Mn の量は最大となる。

^3He 照射後のクロム・ターゲットの塩酸溶液 (8N) よりイソプロピルエーテル (IPE) で ^{52}Fe を抽出するさい、キャリアフリーで存在する $^{52,54}\text{Mn}$ が混入する可能性がある¹²⁾。したがって保持担体として Mn^{2+} 1 mg を加え、また ^{52}Fe の収率をよくするため Fe^{3+} 1 mg を加えて抽出し、有機層を 8N 塩酸で洗浄したのち水で ^{52}Fe を逆抽出し¹¹⁾、加熱して溶媒を追出し塩酸溶液として約 35 時間放置する。放置後、加熱して 3 ml ぐらいまで濃縮し、1.5 倍に希釈すると 4N 塩酸溶液となり、この中に ^{52}Fe , ^{52}Mn が存在している。べつに、あらかじめ 4N 塩酸でコンディショニングした Dowex-1×8 (100~200 メッシュ) のカラム (0.75cm²×15cm) にこの溶液を通し、さらに 4N 塩酸 20ml で洗い、流出液を蒸発乾固したのち、ふたたび塩酸に溶かすと ^{54}Mn をまったく含まない ^{52}Mn が得られる。このさい着色が著しいならば、有機物を分解するために濃硝酸を滴々加えて蒸発乾固をくりかえす。 ^{52}Fe は 0.6N 塩酸で分離できる。

このようにして 1 mCi の ^{52}Fe の壊変により 1 μCi 強の ^{52}Mn を得ることができた。

2.4 励起曲線の測定

クロム・ターゲットの ^3He 照射により $^{50,51,53,57}\text{Mn}$

の生成は当然期待されるものであるが、 ^{53}Mn ($\sim 2 \times 10^6$ 年) は長寿命すぎ、またそれ以外は半減期が短すぎるので、いずれも測定は行なわなかった。

$^{52,54,56}\text{Mn}$ について、クロム薄板 (20~40 mg/cm²) の重ね合わせターゲット法により照射し、そのおのについて測定した。照射エネルギーの算出、放射能量の測定については省略する⁸⁾。

2.5 厚いターゲット収率曲線

常法にしたがい、励起曲線の測定結果より算出した⁸⁾、これによれば任意のビーム電流、照射時間によるその生成量が予測できる。また、他の生成核種についても同様な収率曲線が得られているので^{8), 9)}、照射直後の全放射能量や割合が予測でき、被曝線量の考慮、化学分離法の選択にあたり参考とする。

3. 結果および考察

3.1 照射ずみターゲットと化学分離試料の γ 線スペクトル

^3He (40.4 MeV) を照射後約 3.5 時間おいた場合の、ビーム方向より 3 番目 (照射エネルギー 32.9~31.0 MeV に相当) のクロム薄板を非破壊的に測定した γ 線スペクトルを Fig. 1 に示す。クロムの α 照射後のターゲットの γ 線スペクトル⁷⁾ と比べるとよい対比を示し ^{54}Mn はきわめて少なく、 ^{52}Mn の量のはるかに多いことがみられる。クロムの ^3He , α 照射では生成放射能のそれぞれ 94, 75% は ^{48}Cr (49.9 分) が占めている。したがって被曝線量をへらすため 3~4 時間クーリングして分離操作を行なう。この間に ^{52}Mn の減衰による損失量はわずか 1~2% にすぎない。また、40 MeV の ^3He 照射後、33.2~30.6 MeV の照射に相当するターゲットより ^{52}Fe を化学分離したあとの γ 線スペクトルを Fig. 2 に示す。この場合、照射終了時から 27 時間経過しており、上記の ^{48}Cr や ^{56}Mn などはほとんど減衰し、 γ 0.744, 0.935, 1.434 MeV と消滅 γ 線およびサムピークなどで ^{52}Mn の存在がよく示されている。

Fig. 1 γ -ray spectrum for ^3He -bombarded target plate of chromium after about 3.5 hrs cooling.

Fig. 2 γ -Ray spectrum of hydrochloric acid solution of ^3He -bombarded chromium target after removal of iron activities. observed; at 27 hrs after the end of bombardment.

つぎに, ^{52}Fe の壊変によってつくった ^{52}Mn を化学分離後 1 か月間放置し, 10^4 秒間計測したスペクトルにおいては, バックグラウンド ^{40}K の γ 1.46 MeV 以外は ^{52}Mn のみであり, 提案した方法で γ 線スペクトルのきわめて高純度の ^{52}Mn がキャリアフリーで得られることがわかった。このことは同時に, 照射

済みターゲットより ^{52}Fe の化学分離¹¹⁾ がよく行なわれ ^{54}Mn その他の混入がなかったことをも示している。

3・2 励起曲線および厚いターゲット収率曲線

上記のように生成核種の放射エネルギーと照射エネルギーとから励起曲線を求めた。また, 励起曲線の測定結果より生成量を厚いターゲット収率 ($\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$) に換算して収率曲線をつくった。これらをそれぞれ Fig. 3(1), (2) および Fig. 4 (1), (2) に示す。

励起曲線をみると ^3He 照射の場合, ^{52}Mn は ^{52}Cr ($^3\text{He}, p2n$) 反応で主として生成し核反応断面積は 33 MeV で極大値 220 mb を示す。 ^{52}Cr は偶々核でその存在比が 83.76% であることがきわめて有利にはたっているといえよう。この反応のしきい値 13.9 MeV ということと矛盾しない。高エネルギー側ではいったん極小となり, ふたたび上昇するのは ^{53}Cr ($^3\text{He}, p3n$) 反応の寄与によるものとみられる。この場合のしきい値 22.3 MeV というとも一致している。低エネルギー側で ^{50}Cr ($^3\text{He}, p$), (発熱反応 Q : 8.11 MeV) の寄与があると考えられるが測定では明らかに示す結果とはなっていない。

α 照射では, ^{52}Mn はクロムの (α, pxn) 反応 (x : 1, 3) で生成されるが, これらのしきい値がそれぞれ 13.5, 23.1 MeV であるのにくらべると, ($^3\text{He}, p$) 反応では発熱反応で, はるかに起こりやすく, ($^3\text{He}, pxn$) 反応 (x : 2, 3) のような多粒子放出反応でも 13.9

Fig. 3 (1), (2) Excitation curves and thick-target yield curves for ^{52}Mn , ^{54}Mn , ^{56}Mn from the ($\text{Cr} + ^3\text{He}$) reactions.

Fig. 4 (1), (2) Excitation curves and thick-target yield curves for ^{52}Mn , ^{54}Mn , ^{56}Mn from the $(\text{Cr}+\alpha)$ reactions.

MeV, 22.3 MeV と α 反応 ($x: 1, 3$) の場合と同じくらいのしきい値であり、エネルギー的に大差がない。しかし、 ^{52}Mn 生成の主たる寄与が α 照射では ^{52}Cr (83.76%) の $(\alpha, p3n)$ の 4 粒子放出反応であり、 ^3He 照射のほうは 3 粒子放出反応でしきい値も半分近く低く、ずっと起こりやすいと考えられる。 α 照射の ^{52}Mn の励起曲線によると核反応断面積の極大値は 27 MeV で 35 mb にすぎないことで示されている。なお、低エネルギー側では $^{50}\text{Cr}(\alpha, pn)$ 、高エネルギー側では $^{52}\text{Cr}(\alpha, p3n)$ 反応によっている。

問題となるのは ^{54}Mn の生成であるが、これは半減期が 303 日と長く、 ^{52}Mn への混入はできるだけ避けなければならない。すでに報告したようにクロムの α 照射によって ^{54}Mn の実用量が得られたが、核反応断面積は 30 MeV で 490 mb と大きかった。これに比べて ^3He 照射では 18 MeV で 80 mb を示し、ずっと小さい。その生成は ^{52}Cr の $(^3\text{He}, p)$ 反応、(Q 値 7.80 MeV) で起こり、ついで存在比 9.55% の ^{53}Cr の $(^3\text{He}, pn)$ 反応、(しきい値 0.51 MeV); 2.38% の ^{54}Cr の $(^3\text{He}, p2n)$ 反応、(しきい値 10.41 MeV) と順次エネルギーの上昇とともに寄与してくる様子が、高エネルギー側の傾きがゆるやかになっていることで示されている (Fig. 3) が ^{52}Mn の生成にくらべてその寄与はご

くわずかである。

つぎに、 ^{56}Mn (2.58 時間) の生成をみると、 ^3He 照射では 30 MeV で極大値 1.3 mb を示し、主として ^{54}Cr の $(^3\text{He}, p)$ 反応 (Q 値 7.63 MeV) によるものとみられ、ごくわずかしきい値がなく、しかも分離操作前の 3~4 時間の冷却時間で約 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ に減衰しているので実用上は問題とならない。また、 ^{52}Fe を分離してその壊変により ^{52}Mn をつくるさいには、 ^{54}Mn とともに ^{56}Mn はまったく存在しない。 α 照射の場合、 ^{56}Mn の生成はエネルギーの低い場合にみられ、 $^{53}\text{Cr}(\alpha, p)$ 、ついで $^{54}\text{Cr}(\alpha, pn)$ の寄与があり、それぞれ 1 つの極大値を示すものとみられる (Fig. 4)。

3.3 ^{52}Mn の生成量と最適な照射エネルギー

^3He , α 照射で調べた放射能生成量を比較すると、それぞれ ^{52}Mn の核反応断面積の極大を示す 33, 27 MeV と 40 MeV における生成量は Table 1 のとおりである。これによると、 ^3He 照射では全放射能は α 照射よりも多いが、 ^{49}Cr が主であるから前述のように 3~4 時間の冷却で分離を行なうとよい。 ^3He 照射は ^{52}Mn が 8~9 倍も多く、しかも問題となる ^{54}Mn は 3~6 分の 1 で、 ^{56}Mn は 3~4 分の 1 と少ない点で α 照射よりもすぐれていることがわかる。

Table 1 Thick-target yields of Manganese and some other radioisotopes from ^3He and α reactions on natural chromium at different incident energy

Incident particle	Incident energy (MeV)	Nuclide: Yield ($\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$)				
		^{52}Mn	^{54}Mn	^{56}Mn	^{52}Fe	^{49}Cr
^3He	33	75	0.8	29	19	1,700
	40	156	1.1	46.8	50	5,000
α	27	8.0	2.7	95	2.2	125
	40	22.0	6.0	185	8.3	770

Fig. 4 の収率曲線によると 20 MeV で $2\mu\text{Ci}$, 33 MeV で $75\mu\text{Ci}$, 40 MeV で $156\mu\text{Ci}$ とふえ、 ^{52}Mn の生成には高エネルギーの ^3He 粒子を用いることがいかに大切かをよく示している。しかし、副生成核種の生成量やサイクロトロン運転状況などを考慮して、40 MeV を用いることにした。40 MeV としたため 33 MeV にくらべ ^{52}Mn は 2 倍にふえるが、 ^{56}Mn は 60% 増し、また ^{54}Mn は 30% 弱の増加にしかすぎない。前者は半減期が短いので 1 日余で $1/1,000$ 以下に減少させることができる。同様に ^{49}Cr も 3 倍にふえるが、同じように放置冷却させれば、その放射能はほとんど問題でなくなる。したがって 40 MeV のほうが有利である。

α 照射の場合も同様にエネルギーの高いほど生成量はふえるが、40 MeV としても ^{52}Mn は $22\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ にすぎず、 ^{54}Mn は $6.0\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ となり ^3He 照射の場合にくらべ 6 倍にふえる。また、 ^{56}Mn は 4 倍もふえ、前の場合と同様 1 日余放置して減衰させたにしても、 ^{52}Mn に対して 1% 近い量の ^{56}Mn が存在し ^{52}Mn として用いることができないほどの量である。したがって α 照射はべつに報告したように、 ^{54}Mn の長寿命なのを利用し $^{52,56}\text{Mn}$ を減衰させてしまい、 ^{54}Mn の製法としてすぐれているわけである。

3.4 他の核反応との比較

つぎに他の核反応と比較してみると、まず、クロムの p 粒子照射による ^{52}Mn の生成は主として $^{52}\text{Cr}(p, n)$ 反応により、8 MeV で生成量は $4.5\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ ³⁾、22 MeV と高エネルギーの p 照射では $^{52}\text{Cr}(p, 2n)$ 反応も加わるが、それでも $80\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ である⁴⁾。また、核反応断面積は 22.5 MeV で 26mb ¹³⁾ にすぎず、 ^3He 照射のすぐれていることが明らかであろう。さらに、 p 反応では $^{54}\text{Cr}(p, n)$ 反応による ^{54}Mn の寄与が考え

られるがその生成量は報告されていないので比較はできない。また、近年コンパクトサイクロトロンにより容易につくられ¹⁴⁾、その最近の例によると 22 MeV の p 照射では ^{54}Mn は $4\text{mCi}/50\mu\text{Ah}$ あるという。換算するとやはり $80\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ にすぎない。

また d 粒子照射とくらべてみると、 $^{52}\text{Cr}(d, 2n)$ 反応で得られているが⁵⁾、8~12 MeV で 20 mb で生成量は $140\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ である⁶⁾。しかもこの場合、 ^{54}Mn の生成量は照射終了時において約 1% に達している。また、 d 照射では $^{54}\text{Fe}(d, \alpha)$ 反応 (Q 値: 5.2 MeV) による ^{52}Mn の生成が考えられるが生成量は報告されていない。しかし $^{56}\text{Fe}(d, \alpha)$ 反応 (Q 値: 5.6 MeV) により 15 MeV で ^{54}Mn の収率は $1.4\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ ³⁾ であり、 ^{52}Mn については述べられていないが、5.84% の ^{54}Fe にくらべ 91.68% の ^{56}Fe の (d, α) 反応による ^{54}Mn の寄与は当然無視できないものといえよう。

少し目的はちがうが、厚い鉄ターゲットに 1 GeV の p 粒子を照射したとき ^{52}Mn の生成の核反応断面積は中心部の深さ $17\text{g}/\text{cm}^2$ (p 粒子の飛程から換算すれば 124 MeV) で極大値 20.9mb ¹⁵⁾ といわれる。これらの値にくらべても ^3He 照射では、はるかに大きな値を示している。

4. 結 論

以上の結果より、クロムの ^3He 粒子照射では主として $^{52}\text{Cr}(^3\text{He}, p2n)$ 反応により ^{52}Mn が生成し、33 MeV で 220 mb を示す。これは p, d 反応のいずれの場合よりも大きな核反応断面積であり、40 MeV の照射を行なうときの生成量は $156\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ に達し、いままでに報告された核反応のいずれよりも多いものであり、実用量の ^{52}Mn が与えられることがわかった。しかも、そのさい副生成核種の長命な ^{54}Mn は $\sim 0.7\%$ であり p, d 反応よりもすぐれている。

終りに本研究にあたり実験上の便宜を与えてくださった理化学研究所主任研究員齋藤信房博士ならびに理研サイクロトロングループの各位に深く感謝いたします。また、終始懇切なご指導と実験上の便宜をはかってくださった東京都立大学教授村上悠紀雄博士、理化学研究所野崎正博士、岡野真治博士、日本原子力研究所ラジオアイソトープ研修所油井多丸氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) C.M. Lederer, J.M. Hollander, I. Perlman: "Table of Isotopes, 6th Edn.," John Wiley & Sons, New York (1967)
- 2) J.C. Clark, et al.: *Nucleonics*, **25**, (6) 54 (1967)
- 3) I.J. Gruverman, P. Kruger: *Intern. J. Appl. Rad. Isotopes*, **5**, 21 (1959)
- 4) J.A. Martin, et al.: *Nucleonics*, **13**, (3) 28 (1955)
- 5) P. Kafaras, J.W. Irvine, Jr.: *Phys. Rev.*, **104**, 703 (1956)
- 6) J. Konijn, et al.: *Physica*, **24**, 377 (1958)
- 7) 秋葉文正, 結田康一, 油井多丸, 野崎正, 村上悠紀雄: 日化誌, 908 (1972)
- 8) 秋葉文正, 村上悠紀雄: 日化誌, 1416 (1972)
- 9) 秋葉文正: 日化誌, 1664 (1972)
- 10) 秋葉文正, 村上悠紀雄: 原子力誌, **12**, 382 (1970)
- 11) 秋葉文正, 油井多丸, 野崎正, 村上悠紀雄: *Radioisotopes*, **21**, 155 (1972)
- 12) 秋葉文正, 村上悠紀雄: 分析化学, **20**, 1530 (1971)
- 13) D.F. Denkins, et al.: ORNL-4122, 117 (1966)
- 14) Manuel Tubis: 放射線科学, **14**, 472 (1971)
- 15) J.P. Shedlovsky, G.V.S. Rayudu, *J. Geophys. Rev.*, **69**, 2231 (1964)

Abstract

Study on the Production of ^{52}Mn in Carrier-free State by the Bombardment of ^3He Particles on Chromium

Fumimasa AKIHA

Faculty of Education, Hirosaki University, Bunkyo-cho 1, Hirosaki

To produce the useful quantities of ^{52}Mn in carrier-free state, ^3He or α particales bombardments on natural chromium metal target were thoroughly studied.

The activities of ^{52}Mn , ^{54}Mn , ^{56}Mn and other nuclides were measured by the calibrated Ge(Li) detector connected with a multi-channel pulse height analyzer.

The excitation curves and thick-target yield curves for the formation of the three manganese radionuclides were obtained. It was found that ^{52}Mn was mainly produced by ($^3\text{He}, p2n$) reaction on ^{52}Cr , the cross sections of which reached to the maximum value of 220 mb at 33 MeV ^3He particles. On the other hand, that of ^{54}Mn , an undesirable accompanied nuclide, was found to be 80 mb at 18 MeV.

From the excitation curves and operating conditions of the cyclotron, 40 MeV of ^3He particles was decided as the most suitable energy to give useful quantities of ^{52}Mn . It can give the yield of 156 and $1.1 \mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ of ^{52}Mn and ^{54}Mn , respectively. Thus ^{52}Mn separated in carrier-free state was estimated to contain about 0.7% ^{54}Mn activity at the end of bombardment.

^{52}Mn can be separated and purified by anion exchange followed by distillation from the dissolved solution of the bombarded chromium target and also by anion exchange from ^{52}Fe solution which contains ^{52}Mn as the decay product. In the latter case about $1 \mu\text{Ci}$ of ^{52}Mn can be obtained from 1mCi of ^{52}Fe , but free from ^{54}Mn .

On α particles bombardment, ^{52}Mn was mostly produced by (α, pn) and ($\alpha, p3n$) reactions on ^{50}Cr and ^{52}Cr , respectively. The maximum cross sections for the formation of ^{52}Mn and ^{54}Mn were found to be 35 mb at 27 MeV and 490 mb at 18 MeV α particles, respectively. These two nuclides were produced with yield of 22 and $6 \mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$, respectively, at 40 MeV α particles. The ratio of ^{54}Mn activity to ^{52}Mn at the end of

bombardment was found to be 27.3%, which was fairly larger than that on ^3He bombardment. It was proved that ^3He bombardment was superior to α bombardment on natural chromium.

The yield of ^{52}Mn and the quantities of other by-produced nuclides were compared with those reported on proton or deuteron bombardments. Finally it may be said that as a conclusion 40 MeV ^3He bombardment on natural chromium metal was superior in giving useful quantities of ^{52}Mn with reasonable high yield of $156\ \mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$ and only accompanied with smallest quantities of ^{54}Mn under 0.7% at the end of bombardment.

(Received September 1, 1972)