

氏名・(本籍)	つし 対	ま 馬	かつ 勝	ひで 英
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理	博	第	203号
学位授与年月日	昭和45年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当			
研究科専門課程	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)物理学専攻修了			
学位論文題目	高エネルギー核反応の研究 —電子計算機によるシミュレーション—			
論文審査委員	(主査) 教授佐藤岩男 教授北垣敏男 助教授宇井治生			

論 文 目 次

1. 序
2. Nuclear Cascade
3. Nuclear Evaporation
4. 核反応の統一的な研究(cascadeとevaporation)
5. 結 論

論文内容要旨

1 序

数十MeVから数百MeVの高エネルギー核子が原子核に入射した場合の核反応は、普通、2つの段階に分けて起るものと考えられている²⁾。即ち、「nuclear cascade」と「nuclear evaporation」の2段階である。前者は、入射核子と核内核子との二体衝突の繰返しに依る核子の放出過程であり、後者は、cascadeの結果、励起された原子核（複合核）より、核子や軽い核種が放出される過程である。前者が終了して、非常に長い時間が経過してから、後者が起ると考えられ、両者は独立な過程である。但し、cascadeの結果が、evaporationの初期条件を決定すると言う意味で、二つの過程を、一連のものとして捕える必要があり、しかも実験に於ては、普通、両方の過程の結果の和が計られている。

本論文に於ては、Nuclear cascadeとNuclear evaporationの各々の研究と、両者の統一的な取扱いを、合わせて、行った。それぞれの結果が、2章、3章、4章に記述されている。

2 Nuclear Cascadeの研究

U^{238} , Ru^{100} 核に、各々、82, 155, 235, 355 MeVの入射エネルギーの核子が入射した場合について、モンテカルロ法を用いた電子計算機によるシミュレーション³⁾を行い、次の各量について、調べた。

- i) 放出核子の角度分布
- ii) 1 cascade 当りの放出核子数
- iii) 放出核子の運動エネルギー分布
- iv) 原子核の透明度
- v) 原子核に与えられる励起エネルギー

第1図に、一例として、355 MeV-P+ Ru^{100} の放出核子の角度分布を、実験と比較して示した。以上の諸量を、実験値と較べて、充分、正確なNuclear cascadeのシミュレーションが行われた事が示された。

3 Nuclear evaporationの研究

原子核に対して、統計力学的考察をすると、粒子の原子核よりの蒸発公式が導ける。(Bethe, Weisskopfの公式)。この蒸発公式を用い、粒子の蒸発に依る原子核の変化と、相続く粒子の放出を、詳細にシミュレートした。

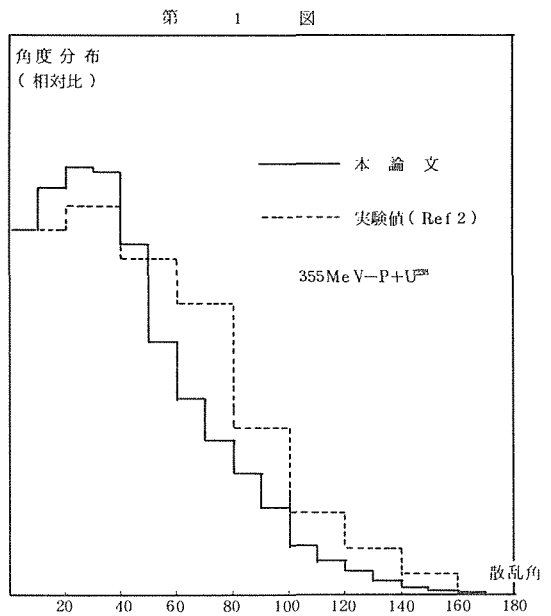
本論文では、 U^{238} 核が励起エネルギー400, 200, 100 MeVを持つ場合のevaporationのシミュ

レーションを実行した。原子核が分裂する可能性も考慮した。

次の諸量について調べた。

- i) 蒸発粒子 (n, p, d, T, He³, α) の蒸発相対比
- ii) 蒸発粒子の運動エネルギー分布
- iii) 親核から出来る蒸発後の生成核の分布

実験と比較出来ない量については、以前なされている研究 (Ref 1) の結果と比較した。一例として、evaporation一回当りの平均蒸発粒子数について、第1表に示した。上記の物理量について調べた結果より、充分、正確な evaporation のシミュレーションが行えた。



第 1 表

	100 MeV	200 MeV
n	5.31	7.79
p	0.88	0.47
d	0.01	0.19
T	0.01	0.16
He ³	0.0	0.008
α	2.09	0.84
平均 ΔA	5.97	9.01
平均 ΔZ	0.53	0.84

4 核反応全体の研究

Nuclear cascade の結果を、evaporation の初期条件として採用することにより、高エネルギー核反応を一連のものとしてシミュレートし、統一的に研究出来る。

本論文に於ては、Cu⁶⁵-核に対して、この「高エネルギー核反応」のシミュレーションを行った。実験データの存るものは、本論文の結果と比較した。実験データが無くても、高エネルギー核反応の解析に役立つと思われる諸量についても調べた。

特に、実験データとの比較として、Cu⁶⁵(p, pn) Cu⁶⁴の核反応の excitation function を調べ、

第2表に示した。

第 2 表

Energy	$\sigma(\text{Cu}^{65}(p \cdot pn)\text{Cu}^{64})\text{mb}$	
	本論文	実験値
100	68.5	98.2
155	51.5	70.8
235	57.9	55.4

5 結 論

π 中間子閾値エネルギー以下の入射エネルギーに対して、充分、正確な高エネルギー核反応のシミュレーションが行えた。各々の evaporation, cascade のシミュレーションも又、同様である。計算に使用したパラメーターの妥当性も、又、保証された。

以上のことは、このエネルギー領域での反応の「二段階過程モデル」の正しさと、cascade 反応を二体散乱の繰返しで記述することが、妥当であることを意味している。

本論文で完成したコードを使用すれば、 $A \geq 50$ の原子核のいずれに対しても「高エネルギー核子入射核反応」のシミュレーションが行える。このコードにより、実験の予測や代行、補間を行うことが可能である。

本論文で完成したコードに π 中間子発生に関するコードを追加することにより、 π , κ 中間子入射核反応についてのシミュレーションも可能になる。それは、宇宙線領域 ($E > 1 \text{ GeV}$) での核反応の取扱いも可能になることをも意味する。

References

1. Dostrovsky Phys. Rev. 111 1659 (1958)
2. Serber Phys. Rev. 72 1114 (1947)
3. Metropolis Phys. Rev. 111 185 (1958)

論文審査結果の要旨

対馬勝英提出の論文は、高エネルギー核反応を nuclear cascade と、それに続く nuclear evaporation とみなし、これらの過程に対して行われた電子計算機によるシミュレーションについての報告である。原子核理論の目的のひとつは複雑な核現象を、より基本的な相互作用又は過程の知識によって説明する事であるが、この論文では次のようにしてこの目的を達成しようとする。標的核、入射粒子、入射エネルギーが与えられた時、まず nuclear cascade model を採用し、核子-核子散乱、核半径、結合エネルギー等についてのデータを用いて核内で次々に起る二体衝突過程を計算機で追跡する事により、放出粒子、残留核についての情報を得る。その際核に対して Fermi 気体模型を適用して Pauli 原理の効果をとり入れる。次に残留核が熱平衡に達してから、色々な粒子が統計力学的な確率に従って次々に放出される過程、即ち evaporation を計算機で追跡して蒸発粒子についての情報を計算する。

このように cascade と evaporation を接合する事によって反応全体に対する理論的予言を行う。

論文の第二章は cascade のシミュレーションにあてられている。82, 155, 235, 355 MeV の陽子が Ru^{100} および U^{238} に入射した場合、および 100, 300 MeV の陽子が Cu^{65} に入射した場合に対して計算が行われ、色々な物理量が丹念に計算されている。第三章では evaporation の計算に必要な核の準位密度、クーロム障壁の透過率、核分裂の確率、放出粒子のエネルギー分布についてくわしい検討が行われ、励起エネルギー 100, 200, 400 MeV の U^{238} に対して evaporation のシミュレーションが行われている。第四章では 100, 155, 235 MeV の陽子が Cu^{65} に入射した場合に対して cascade と evaporation の接合したシミュレーションが行われている。特に $\text{Cu}^{65}(p, pn)\text{Cu}^{64}$ の断面積を計算して数少ない実験との比較をしている。モデルの簡略さを考慮すれば実験との一致はよいと云える。

著者の研究は非常に組織的であり、又 cascade と evaporation の計算の接合を始めて行った。またこの研究で完成されたコードは、この種の他の反応に適用する事が出来、実験の予測、補間に役立つ。よって対馬勝英提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。