

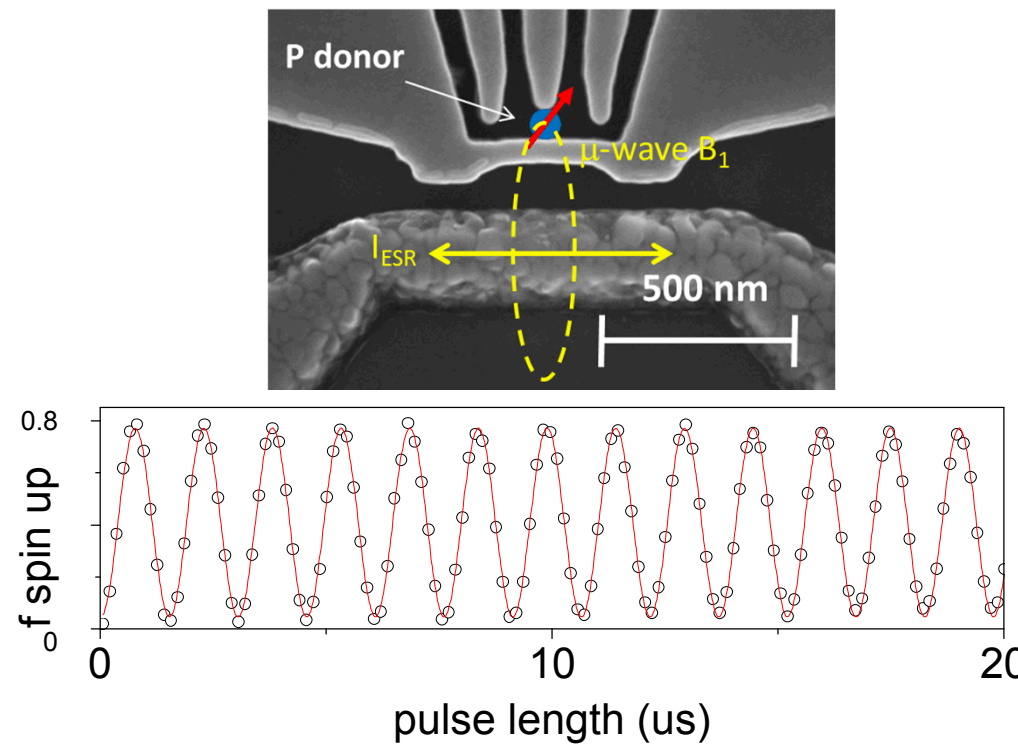
Fabrication and Transport in Counted Donor Devices using Top-Down Ion Implantation

E. Bielejec¹, J. L. Pacheco¹, M. Singh¹, C. Bureau-Oxton², N. Tobias Jacobson³, J. Gamble³, E. Nielsen¹, R. Muller³, D. Luhman¹, M. P. Lilly¹ and M. S. Carroll¹

¹Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, ²Université de Sherbrooke, ³Center for Computing Research, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM

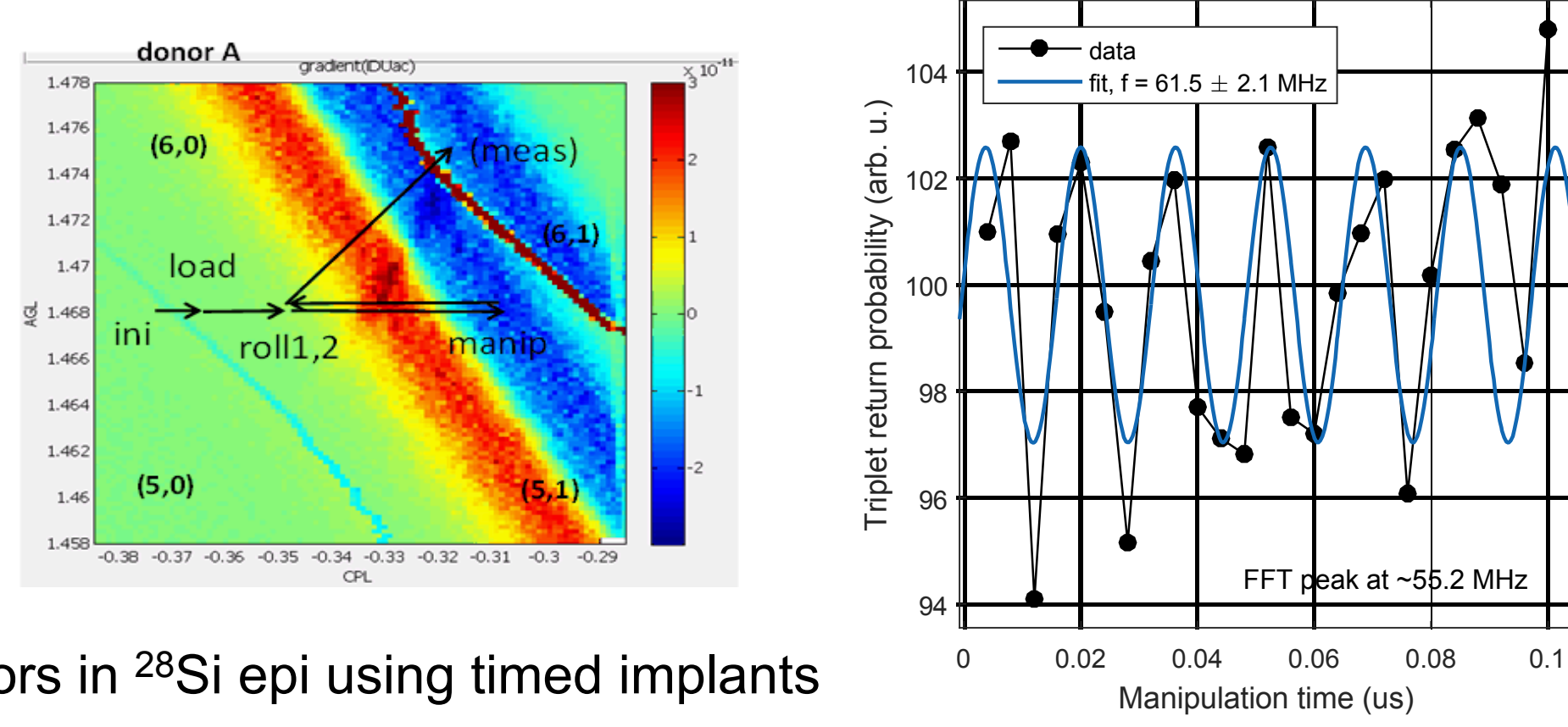
Motivation of Work

Single Qubit Control



Experiments performed on ³¹P donors in ²⁸Si epi using timed implants

Coherent Coupling of Single Donor to QD



→ Outstanding donor results point towards the need for deterministic implants!

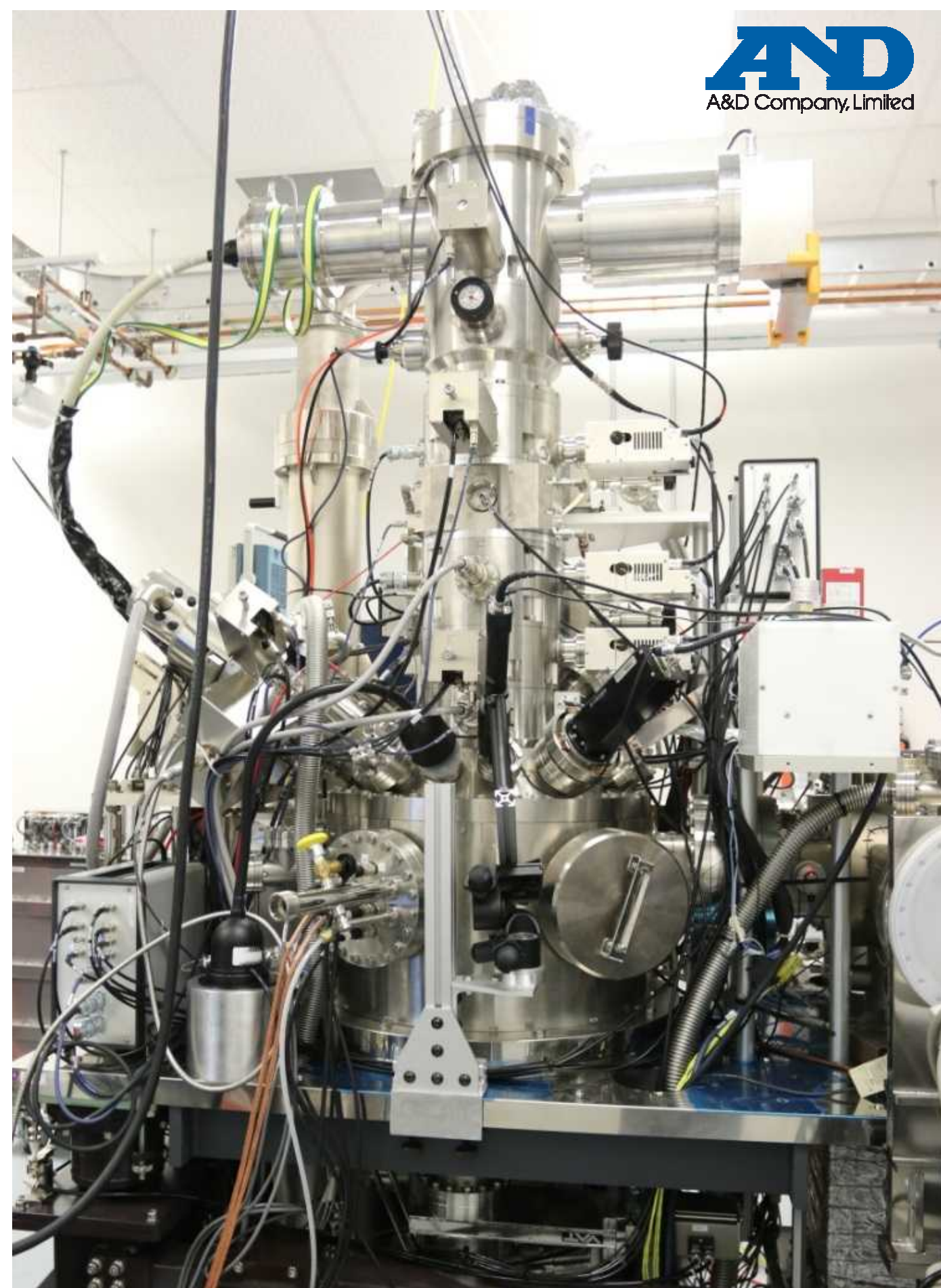
Single ion implantation can be used for the following:

- 1.) Respond to discovery on timed implant path
- 2.) Tool for understanding donor 'activation'
- 3.) Evaluation of different ion species (P, Sb and Bi)
- 4.) Rapid turn-around for high yield single donor devices

Nanoscale Top-Down Ion Implant

nanolmplanter

- Focused ion beam system (FIB)
→ nm beam spot size on target
- ExB Filter (Wein Filter)
→ Multiple ion species
- Fast blanking and chopping
→ Single ion implantation
- Direct-write lithography
→ nm targeting accuracy



What ion species are possible?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh	Uui	Uuj	Uuk	Uul	Uum	Uun	Uuo	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuv	Uuw	Uux	Uuy	Uuz	Uua	Uub	Uuc	Uud	Uue	Uuf	Uug	Uuh